



**ATIVIDADE DA MICROBIOTA DO SOLO E
DESENVOLVIMENTO DA BANANEIRA
'PRATA CATARINA' SUBMETIDA À
ADUBAÇÃO COM CLORETO DE POTÁSSIO
E SULFATO DE AMÔNIO**

NAYARA ELLANE PEREIRA VIANA

2018

NAYARA ELLANE PEREIRA VIANA

**ATIVIDADE DA MICROBIOTA DO SOLO E DESENVOLVIMENTO
DA BANANEIRA 'PRATA CATARINA' SUBMETIDA À
ADUBAÇÃO COM CLORETO DE POTÁSSIO E SULFATO DE
AMÔNIO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

Orientadora

D.Sc. Michele Xavier Vieira Megda

**JANAÚBA
MINAS GERAIS - BRASIL
2018**

Viana, Nayara Ellane Pereira

V614a Atividade microbiota do solo e desenvolvimento da bananeira 'Prata Catarina', submetida à adubação com cloreto de potássio e sulfato de amônio [manuscrito] / Nayara Ellane Pereira Viana. – 2018.
124 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2018.

Orientadora: Prof^a. D. Sc. Michelle Xavier Vieira Megda.

1. Adubação e fertilizantes. 2. Banana. 3. Salinidade. 4. Solo
Uso. I. Megda, Michelle Xavier Vieira. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 634.772

Catálogo: Joyce Aparecida Rodrigues de Castro Bibliotecária CRB6/2445

NAYARA ELLANE PEREIRA VIANA

**ATIVIDADE DA MICROBIOTA DO SOLO E DESENVOLVIMENTO
DA BANANEIRA ‘PRATA CATARINA’ SUBMETIDA À
ADUBAÇÃO COM CLORETO DE POTÁSSIO E SULFATO DE
AMÔNIO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

APROVADA em 19 de junho de 2018.

D.Sc. Michele Xavier Vieira
Megda
(Orientadora - UNIMONTES)

D.Sc. Marcio Mahmoud Megda
(Coorientador - UNIMONTES)

D.Sc. Marcos Koiti Kondo
(UNIMONTES)

D.Sc. Adélica Aparecida Xavier
(UNIMONTES)

D.Sc. José Augusto dos Santos Neto
(UNIMONTES)

**JANAÚBA
MINAS GERAIS - BRASIL**

A Deus, pelo dom da vida.
Aos meus pais, Noeme Pereira da Costa Viana e Pedro Viana Costa,
pelo exemplo de honestidade e dedicação.
Aos meus irmãos Nádson e João Pedro.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido o dom da vida e por não me desamparar nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, pela dedicação e auxílio.

À FAPEMIG, pela concessão de bolsa.

À Universidade Estadual de Montes Claros – UNIMONTES, pela contribuição na minha formação acadêmica.

Ao Departamento de Ciência do Solo e Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, pelo aperfeiçoamento e oportunidades oferecidas.

A minha orientadora, D.Sc. Michele Xavier Vieira Megda: pela presteza, paciência, estímulo e toda ajuda fornecida no decorrer do trabalho. Pela valiosa orientação acadêmica dedicada nos últimos meses em que trabalhamos juntas, que revelou autêntica demonstração de profissionalismo, competência, humildade, confiança e companheirismo.

Ao meu coorientador, D.Sc. Marcio Mahmoud Megda, pelos ensinamentos, contribuições científicas e toda ajuda fornecida no decorrer do trabalho.

Aos meus colegas do laboratório de solos: David Gabriel Campos Pereira, Matheus Magno Silva Damasceno, Mickaelly Jordanya Guimarães Silva, Isadora Alves Santana; pelo auxílio e suporte no desenvolvimento da pesquisa, e incansável dedicação para que este projeto de pesquisa fosse concluído.

À Irisléia e sua família, pela amizade sincera, pelo carinho, pela acolhida e por todo apoio durante o curso. Aos colegas de pós-graduação pela amizade e apoio, por todo conhecimento compartilhado.

Aos meus amigos e colegas de profissão, Lilian Lourenço, Leandro Lima, Vagner Loiola e Grasielle Donato, por inúmeras vezes que me apoiaram, compartilharam conhecimento e fizeram meus dias melhores; Aos meus amigos Josy Lima, Mariza Mendes, Samantha Alves, Júlio Silva,

Graciele Costa e Dany Nogueira, mesmo de longe torceram por mim e apoiaram incondicionalmente. Sem vocês, o caminho até aqui não seria fácil, me mostraram o verdadeiro significado da palavra amizade.

Aos professores Ariomar Rodrigues dos Santos e Leandro Gonçalves dos Santos, pelo incentivo, apoio e auxílio. Ao IF Baiano *Campus* Guanambi, por ceder o laboratório para realização de algumas análises.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para o êxito deste trabalho, seja pela ajuda direta ou por uma palavra de incentivo e amizade.

MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	i
GENERAL ABSTRACT	iii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1. Cultura da bananeira	4
2.1.1. Características gerais	4
2.1.2 Nutrição da bananeira: solo e planta.....	6
2.2. Problemas de salinidade.....	8
2.2.1. O processo de salinização do solo	8
2.2.2. A salinidade e o desenvolvimento das plantas	10
2.2.3. Tolerância da bananeira à salinidade	12
2.3. Microbiota do solo	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16
CAPÍTULO I - ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE CLORETO DE POTÁSSIO E SULFATO DE AMÔNIO.....	24
RESUMO.....	25
ABSTRACT	26
1 INTRODUÇÃO	27
2 MATERIAL E MÉTODOS	30
2.1 Caracterização do solo	30
2.2 Tratamentos e delineamento experimental	32
2.3 Instalação e condução do experimento	32
2.4 Avaliações.....	33
2.4.1 Condutividade elétrica do solo	33
2.4.2 Teor de amônio (N-NH ₄ ⁺) no solo.....	33
2.4.3 Teor de cloreto no solo	33
2.4.4 Carbono mineralizável – Respiração microbiana	34
2.5 Análises Estatísticas.....	34
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4 CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

CAPÍTULO II - DESENVOLVIMENTO VEGETATIVO DA BANANEIRA “PRATA CATARINA” E ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA E NITROGENADA	64
RESUMO.....	65
ABSTRACT	67
1 INTRODUÇÃO	69
2 MATERIAL E MÉTODOS	71
2.1 Caracterização do Solo	71
2.2 Tratamentos e delineamento experimental	73
2.3 Instalação e condução do experimento	73
2.4 Avaliações.....	74
2.4.1 Condutividade elétrica da solução do solo	74
2.4.2 Teor de amônio no solo	74
2.4.3 Teor de cloreto no solo	74
2.4.4 Carbono mineralizável–Respiração microbiana	75
2.4.5 Carbono orgânico total	75
2.4.6 Carbono da biomassa microbiana.....	76
2.4.7 Quociente metabólico	76
2.4.8 Quociente microbiano.....	77
2.4.9 Características biométricas da cultura	77
2.4.10 Concentração de cloreto na parte aérea da bananeira	78
2.5 Análise Estatística.....	79
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
4 CONCLUSÕES	116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117

RESUMO GERAL

VIANA, Nayara Ellane Pereira. **Atividade da microbiota do solo e desenvolvimento da bananeira ‘Prata Catarina’ submetida à adubação com cloreto de potássio e sulfato de amônio.** 2018. 124p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG.¹

Devido ao uso contínuo de fertilizantes salinos, como o cloreto de potássio e o sulfato de amônio, o acúmulo de sais nos solos vem se acentuando, especialmente em regiões onde a evapotranspiração excede a precipitação. O excesso na disponibilidade de íons desencadeia uma série de distúrbios fisiológicos nas plantas e nos microrganismos, tornando-se um potencial biocida no solo. O trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de doses de potássio e nitrogênio, na atividade microbiana em Latossolo e as suas consequências no desenvolvimento vegetativo da banana ‘Prata’. A primeira etapa do experimento (ano 2016) foi conduzida em condições de laboratório por meio da incubação aeróbia de amostras de solo. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 11 tratamentos e 4 repetições, constituindo-se de um fatorial 5×2 (5 doses de K_2O x 2 doses de N), + uma parcela controle (sem a aplicação de K_2O e N). As doses de potássio e nitrogênio utilizadas foram: 0, 50, 100, 200 e 400 $mg\ dm^{-3}$ de K_2O aplicadas na forma de cloreto de potássio (KCl) e 200 e 400 $mg\ dm^{-3}$ de N, na forma de sulfato de amônio $((NH_4)_2SO_4)$. Os solos das unidades experimentais foram incubados em condição aeróbia, por um período de 90 dias em recipientes hermeticamente fechados. Após a primeira etapa, o experimento foi implantado em casa de vegetação (ano 2017) com a cultura da banana ‘Prata Catarina’ cultivada em Latossolo Vermelho distrófico típico. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com 13 tratamentos e quatro repetições, constituído de um fatorial 6×2 (6 doses de K_2O x 2 doses de N), + uma parcela controle (sem a aplicação de K_2O e N). As doses de potássio utilizadas foram: 0, 50, 100, 200, 300 e 400 $mg\ dm^{-3}$ de K_2O e 200 e 400 $mg\ dm^{-3}$ de N, cujas fontes foram cloreto de potássio (KCl) e sulfato de amônio $((NH_4)_2SO_4)$, respectivamente. As mudas foram plantadas em vasos com capacidade de 10L e os seguintes parâmetros foram avaliados: condutividade elétrica do solo, teores de amônio e cloreto no solo, atividade microbiana, concentração de cloro na parte aérea da bananeira; produção de raízes e parte aérea, além dos parâmetros biométricos durante o desenvolvimento vegetativo da cultura. O fornecimento de potássio e nitrogênio em doses superiores a 200 $mg\ dm^{-3}$ de K_2O associadas à adubação nitrogenada resultou no acúmulo de

¹**Comitê orientador:** Prof. D.Sc. Michele Xavier Vieira Megda (Orientadora) – UNIMONTES; Prof. D.Sc. Marcio Mahmoud Megda (Coorientador) - UNIMONTES.

sais na solução do solo, elevou a condutividade elétrica da solução, ocasionou diminuição da emissão do carbono mineralizável do solo na forma de CO₂, além de acarretar na redução significativa da mineralização do N e disponibilidade de N-NO₃ no solo. Houve redução significativa da biomassa microbiana, taxa respiratória e quociente metabólico em doses superiores a 200 mg dm⁻³ de K₂O e 400 mg dm⁻³ de N. O aumento das concentrações de cloro na solução do solo e nas folhas com o incremento das doses de potássio e nitrogênio levou ao menor desenvolvimento vegetativo da banana 'Prata Catarina'. Concluiu-se, portanto, que elevadas doses de cloreto de potássio e sulfato de amônio resultam em decréscimo da atividade microbiana e do desenvolvimento vegetativo da banana 'Prata' devido aos efeitos tóxicos causados pelo excesso de cloreto no solo e nas plantas, sendo portanto, recomendado o uso criterioso de cloreto de potássio associado ao sulfato de amônio em adubações sucessivas, especialmente em culturas semiperenes como a banana.

Palavras-Chave: *Musa spp.*; Salinidade; Respirometria; Mineralização; Estresse Biótico.

GENERAL ABSTRACT

VIANA, Nayara Ellane Pereira. **Soil microbiota activity and development of the 'Prata Catarina' banana submitted to fertilization with potassium chloride and ammonium sulfate.** 2018. 124 p. Dissertation (Master in Plant Production in the Semi-Arid) - State University of Montes Claros, Janaúba, MG.²

Due to the continuous use of saline fertilizers, such as potassium chloride and ammonium sulfate, the accumulation of salts in the soil has been increasing, especially in regions where evapotranspiration exceeds precipitation. The excess in the availability of ions, triggers a series of physiological disturbances in plants and microorganisms, becoming a potential biocide in the soil. The objective of this work was to evaluate the effect of the application of potassium and nitrogen doses to the microbial activity in Tipic Hapludox and its consequences on the vegetative growth of banana 'Prata'. The first stage of the experiment (year 2016) was conducted under laboratory conditions by aerobic incubation of soil samples. The experimental design was a completely randomized with 11 treatments and 4 replicates, constituting a 5 x 2 factorial (5 doses of K₂O x 2 doses of N), + a control plot (without application of K₂O and N). The doses of potassium and nitrogen used were: 0, 50, 100, 200 and 400 mg dm⁻³ of K₂O as potassium chloride (KCl) and 200 and 400 mg dm⁻³ of N as ammonium sulfate ((NH₄)₂SO₄). The soils of the experimental units were incubated in aerobic condition for a period of 90 days in hermetically sealed recipients. After the first stage, the experiment was implanted in a greenhouse (year 2017) with the cultivation of banana 'Prata Catarina' cultivated in Tipic Hapludox. The experimental design was a randomized block with 13 treatments and four replicates, consisting of a factorial 6 x 2 (6 doses of K₂O x 2 doses of N), + one control plot (without application of K₂O and N). The potassium doses used were: 0, 50, 100, 200, 300 and 400 mg dm⁻³ of K₂O and 200 and 400 mg dm⁻³ of N, whose sources were potassium chloride (KCl) and ammonium sulfate ((NH₄)₂SO₄), respectively. The seedlings were planted in pots with a capacity of 10L and the following parameters were evaluated: soil electrical conductivity, ammonium and chloride content in the soil, microbial activity, concentration of chlorine in the banana shoot; root and shoot production, as well as biometric parameters during the vegetative growth of the crop. The supply of potassium and nitrogen in doses higher than 200 mg dm⁻³ of K₂O associated with nitrogen fertilization resulted in the accumulation of salts in the soil solution, elevated the electrical conductivity of the solution, caused decrease of the mineralizable carbon emission of the soil as CO₂, besides causing significant reduction of N mineralization and N-NO₃ availability in

²**Guidance committee:** Prof. D.Sc. Michele Xavier Vieira Megda (Advisor) – UNIMONTES; Prof. D.Sc. Marcio Mahmoud Megda (Co-advisor) - UNIMONTES.

the soil. There was a significant reduction of microbial biomass, respiratory rate and metabolic quotient at doses higher than 200 mg dm⁻³ of K₂O and 400 mg dm⁻³ of N. The increase of chlorine concentrations in soil solution and banana's shoot with increasing doses of potassium and nitrogen, led to the lower vegetative growth of banana 'Prata Catarina'. It was concluded, therefore, that high doses of potassium chloride and ammonium sulphate resulted in a decrease in the microbial activity and in the vegetative growth of the banana 'Prata' due to the toxic effects caused by the excess of chloride in the soil and plants, being therefore, recommended the careful use of potassium chloride associated with ammonium sulfate in successive fertilizations, especially in semi-perennial crops such as banana.

Keywords: *Musa* spp., Salinity, Respirometry; Mineralization; Biotic stress.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor de banana do mundo, com cerca de 7,2 milhões de toneladas em uma área total de 486,7 mil ha. O Estado de São Paulo se destaca no cenário nacional como o maior produtor de banana, responsável por 16,1% do total, seguida da Bahia, com 14,9%, Minas Gerais, com 11,8% e Santa Catarina, com 10,0%. Esses estados juntos perfazem 52,8% do volume total produzido no Brasil (IBGE, 2018).

Na região semiárida brasileira, o norte de Minas Gerais se sobressai como um dos polos de produção de banana, concentrando 50,6% da produção do Estado, nas cidades de Jaíba, Janaúba, Nova Porteirinha e Matias Cardoso (GCEA – MG, 2015). A produtividade média da cultura em Minas Gerais é de 18,3 t ha⁻¹ ano⁻¹, sendo superior a média brasileira, de 14,8 t ha⁻¹ ano⁻¹ de banana (IBGE, 2018), porém, ainda consideradas de baixa produtividade (<25 t ha⁻¹ ano⁻¹) de acordo com critério estabelecido por Silva (2015). Entre as causas deste baixo rendimento, destaca-se o manejo inadequado dos fertilizantes e da água de irrigação, a baixa utilização de tecnologias, elevado índice de perda no campo, e a escassez e má distribuição das chuvas em alguns polos produtores de banana do Brasil.

Segundo Lopez e Espinosa (1995), a bananeira por ser uma planta de crescimento rápido, demanda elevadas quantidades de nutrientes para seu desenvolvimento, absorvendo e exportando altas concentrações de nutrientes. O potássio (K) e o nitrogênio (N) são os nutrientes mais absorvidos e necessários para o crescimento e produção de frutos de qualidade superior. Em geral, a quantidade de K₂O recomendada para a cultura varia de 450 a 700 kg ha⁻¹ano⁻¹ de K₂O dependendo do teor encontrado no solo (SILVA, 2015), enquanto as recomendações de N variam de 90 a 300 kg ha⁻¹ (SILVA e BORGES, 2008; SILVA, 2015).

As elevadas temperaturas e a irregularidade das chuvas na região do semiárido, com ocorrência de até nove meses de seca, constituem-se fatores

limitantes para o desenvolvimento e a produtividade da cultura. Uma vez que a elevada evapotranspiração favorece a salinização do solo e afeta o desenvolvimento das plantas devido ao déficit hídrico, desequilíbrio nutricional e a toxidez provocada pelo acúmulo de íons no sistema solo-planta (MUNNS e TERMAAT, 1986; PENNINGS e CALLAWAY, 1992).

Quando as plantas estão sujeitas a estresses bióticos e abióticos podem limitar a presença e atividade dos microrganismos no solo, que integram os processos de decomposição da matéria orgânica e ciclagem dos nutrientes. O aumento da concentração de sais, portanto, prejudica os processos biológicos no solo como a mineralização do C e N. Assim, torna-se importante avaliar a atividade microbiana em condições estressantes.

Vários estudos, em laboratório e campo, comprovaram que mesmo em baixas concentrações, o íon cloreto (Cl⁻), pode inibir o processo de amonificação do solo (WADE, 1997; MCGUIRE *et al.*, 1999; CHEN e WONG, 2004). No entanto, o conhecimento a respeito das concentrações exatas e os detalhes dessa reação no solo são ainda incipientes na literatura.

Alguns compostos clorados (CHRISTENSEN *et al.*, 1981; KANDELER, 1993; CHEN e WONG, 2004) e nitrogenados (CRAINE *et al.*, 2007; RAMIREZ *et al.*, 2012; FISK *et al.*, 2015; SPOHN *et al.*, 2016) têm forte ação oxidante, podendo reduzir a população microbiana do solo. A adição do Cl⁻ na forma de cloreto de amônio ou cloreto de potássio reduz a biomassa microbiana e a oxidação do N-amônio no solo (VIEIRA-MEGDA *et al.*, 2014).

Do mesmo modo, Spohn *et al.* (2016) observaram que a respiração microbiana foi 28 a 37% menor com a adição de N e K, em comparação ao controle (sem adubação). Segundo esses mesmos autores, ocorreu inibição de enzimas oxidativas envolvidas na degradação de compostos aromáticos por N em combinação com uma exigência de energia reduzida para a aquisição microbiana de N nos solos fertilizados.

O limite de tolerância à salinidade depende da concentração do sal na solução do solo, do tempo de exposição, bem como do estágio de

desenvolvimento das plantas, sendo a fase inicial do desenvolvimento considerada a mais crítica. Experimentos que respondam essas questões são de suma importância para aprimorar a recomendação de fertilizantes. Dessa forma, objetivou-se avaliar a aplicação de cloreto de potássio e sulfato de amônio e sua influência no acúmulo de sais e na atividade microbiana do solo, além das alterações no desenvolvimento vegetativo da bananeira 'Prata Catarina'.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Cultura da bananeira

2.1.1. Características gerais

A população brasileira consome, anualmente, 6,6 milhões de toneladas de banana, com consumo de 15,2 kg habitante⁻¹ ano⁻¹, enquanto que a média mundial é de apenas 9,2 kg. O Brasil constitui-se, portanto, um mercado que desperta o interesse não só dos produtores brasileiros, mas também de outros países produtores (VERNEQUE, 2015).

Seu consumo é quase em sua totalidade *in natura*, inserindo-se, principalmente, na alimentação das populações de baixa renda, devido ao seu baixo custo, versatilidade para o consumo e alto valor nutritivo (FAO, 2009; GANGA, 2002). Produzida em todos os estados brasileiros, em Minas Gerais tem importante papel social, especialmente para a região Norte, onde é fonte de renda para muitos agricultores, gerando emprego nos diversos segmentos da cadeia produtiva da região (ROSA JÚNIOR, 2000).

O Norte de Minas é o quarto maior produtor de banana do País, após o Vale do Ribeira, em São Paulo, o Vale do Rio São Francisco na Bahia e a região Norte de Santa Catarina. A produtividade média do estado de Minas Gerais é de 18,3 t ha⁻¹ ano⁻¹, superior à média brasileira, que é de 14,8 t ha⁻¹ ano⁻¹ (IBGE, 2018).

A bananeira (*Musa* spp.) é uma planta monocotiledônea, possui formas e dimensões das folhas bem característica, com ciclo de vida bem definido, herbácea e perene (perfilho nascem da base da planta-mãe). Possui tronco curto, representado pelo rizoma, além de um conjunto de bainhas foliares que formam o pseudocaule, terminando com uma copa de folhas compridas e largas. As raízes são tenras e frágeis, não devendo ser cultivadas em solos pesados ou pedregosos (SILVA *et al.*, 2002a; NETO e MELO, 2003; BORGES e SOUSA, 2004).

A bananeira é exigente na disponibilidade de água no solo, com alto percentual de água em seus tecidos, em média de 95% no pseudocaule, 85% nas folhas, 93% no engaço, 91% no coração e 79% nas pencas (MOREIRA, 1999). As necessidades hídricas totais da banana variam de 1.200 mm a 2.800 mm por ano em função do clima. Mas boas produtividades estão associadas a um fornecimento hídrico total de 1.900 mm bem distribuídos durante o ano (COLOMBIA, 1974; BORGES, 2004; CENTEC, 2004). A temperatura média de aproximadamente 27°C é considerada ótima para o crescimento das bananeiras comerciais, enquanto a mínima é de aproximadamente 16°C (MOREIRA, 1987).

Embora exista um número expressivo de variedades de banana no Brasil, o plantio comercial fica restrito a poucas cultivares com potencial agrônomo, pois deve-se considerar aspectos como preferência dos consumidores, produtividade, tolerância a pragas e doenças, resistência à seca e frio e porte adequado. As cultivares ‘Prata’ e ‘Pacovan’ são responsáveis por aproximadamente 60% da área cultivada com banana no Brasil (SILVA, 1999).

A baixa produtividade dos bananais é resultado de diversos fatores, como o cultivo em solos de baixa fertilidade e/ou com limitações físicas, a falta de manutenção dos teores adequados de nutrientes no solo, a variabilidade espacial dos fatores de crescimento, além do clima, manejo cultural e genética (SILVA, 2015).

Apesar do Brasil ser o terceiro maior produtor de banana no mundo, a baixa produtividade demanda investimentos em pesquisa e disseminação de tecnologias para o manejo dessa cultura, que busquem maximizar o rendimento, potencializar o uso dos recursos naturais e insumos, e tornem sustentável a bananicultura.

2.1.2 Nutrição da bananeira: solo e planta

Por ser uma planta muito sensível ao desequilíbrio nutricional (SILVA e BORGES, 2008) e muito exigente em nutrientes quando comparada a outras frutíferas (DAMATTO JUNIOR *et al.*, 2006), é comum a ocorrência de desbalanceamento de nutrientes no solo, desencadeando distúrbios fisiológicos na bananeira (SILVA, 2015). Silva e Rodrigues (2013) observaram que a máxima produtividade (31 t ha^{-1}) da bananeira 'Prata Anã', no quarto ciclo, foi obtida com a aplicação de 969 kg ha^{-1} de K_2O e que o solo apresentava desequilíbrio nutricional (baixo teor de Ca^{+2} e K^+ e elevado teor de Mg^{+2}).

Essa elevada necessidade de adubação se deve ao rápido crescimento da planta, com grande acúmulo de matéria seca e de nutrientes, exportando quantidades elevadas de nutrientes pelos frutos. De acordo com Silva e Borges (2008), os nutrientes são absorvidos pela bananeira na seguinte ordem decrescente: $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{S} > \text{P} > \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Cu}$.

O potássio é o nutriente mais exigido para a nutrição da bananeira, correspondendo a 62% do total dos macronutrientes e 41% do total de nutrientes absorvidos (BORGES e OLIVEIRA, 2000). Esse elemento atua em processos importantes como a respiração, fotossíntese, síntese de clorofila e na regulação do conteúdo de água nas folhas. O nitrogênio, por sua vez, é constituinte de inúmeros compostos nas plantas, destacando-se a síntese de aminoácidos, ácidos nucleicos e clorofila (CANTARELLA, 2007).

Silva e Simão (2015), estudaram a relação da aplicação de potássio no solo com o equilíbrio nutricional e a incidência do mal do Panamá (*Fusarium oxysporum*) na bananeira 'Prata Anã' (AAB). De acordo com os autores a dose média de K_2O para alcançar a máxima eficiência de produção após três ciclos foi de 880 kg ha^{-1} , proporcionando tolerância ao mal do Panamá em solo com teor médio de K (70 mg dm^{-3}).

Ao avaliar os efeitos da aplicação de doses de NPK, nas formas de ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente, Melo *et al.* (2006) observaram que a adubação para bananeira está relacionada ao ciclo de produção, havendo maiores demandas por nitrogênio e potássio no primeiro ciclo (200 kg ha⁻¹ de N e 300 kg ha⁻¹ de K₂O) e fósforo e potássio no segundo ciclo (123,83 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 344,76 kg ha⁻¹ de K₂O).

Vários estudos relatam que as respostas das culturas à adubação nitrogenada estão relacionadas aos teores de matéria orgânica do solo (MOS). Brasil *et al.* (2000) avaliaram a resposta da banana ‘Pioneira’ à adubação com doses de N e observaram aumento linear na massa do cacho no segundo ciclo de produção. De acordo com os autores, o resultado obtido estava relacionado ao baixo teor de MOS (1,4 dag kg⁻¹). Por outro lado, Silva *et al.* (2003), ao avaliarem a aplicação de doses de N na produtividade da bananeira em solo argiloso com médio teor de MOS (2,7 dag kg⁻¹), verificaram redução linear no segundo e terceiro ciclos de produção. Resultados semelhantes foram encontrados por Santos *et al.* (2009) em solo com teor médio de MOS (2,4 dag kg⁻¹), ao verificarem que não houve efeito significativo da aplicação de doses de N (0 a 352 kg ha⁻¹ de N), na produção da bananeira ‘Prata-Anã’.

A análise dos teores foliares de nutrientes é fundamental para identificar desequilíbrios nutricionais, em função de variações de clima, solo, manejo cultural e fitossanitário. Essa prática permite antecipar a resolução do problema, principalmente em cultivos perenes e semi-perenes com vários ciclos produtivos, como a bananeira. Essas análises são importantes para avaliar o estado nutricional das plantas, em complemento à análise química do solo e à diagnose visual, e reflete a dinâmica de nutrientes no sistema solo-planta (SILVA e BORGES, 2008).

A interpretação dos resultados da análise foliar baseia-se na comparação com padrões nutricionais, e pode ser realizada com o emprego de diversas técnicas, como a faixa de suficiência (CANTARUTTI *et al.*, 2007). As faixas de suficiência para cultivares de diferentes subgrupos de

bananeiras encontram-se estabelecidas, de forma específica, como por exemplo, para o subgrupo Cavendish (IFA, 1992), para a Prata (PREZOTTI, 1992), para a Prata-Anã (SILVA *et al.*, 2002b) e a cultivar Pacovan (BORGES e CALDAS, 2004).

Quanto aos valores de referência, Silva *et al.* (2002b) estabeleceram faixas de suficiência para a bananeira 'Prata-Anã' no Norte de Minas Gerais, sendo, em g kg⁻¹: 25,0-29,0 de N; 1,5-1,9 de P; 27,0-35,0 de K; 4,5-7,5 de Ca; 2,4-4,0 de Mg; 1,7-2,0 de S, e em mg kg⁻¹: 12,0-25,0 de B; 2,6-8,8 de Cu; 72,0-157,0 de Fe; 173,0-630,0 de Mn e 14,0-25,0 de Zn.

2.2. Problemas de salinidade

2.2.1. O processo de salinização do solo

A salinização é o processo que leva ao acúmulo de sais no solo ou na água de irrigação, sendo estes prejudiciais para a maioria das espécies vegetais. Os principais íons que podem formar sais são potássio (K⁺), magnésio (Mg²⁺), cálcio (Ca²⁺), cloreto (Cl⁻), sulfato (SO₄²⁻), carbonato (CO₃²⁻), bicarbonato (HCO₃⁻) e sódio (Na⁺). As variáveis utilizadas na classificação dos solos com excesso de sais são a condutividade elétrica do extrato de saturação, pH e a porcentagem de sódio trocável no complexo de troca (GHEYI, 2000; CAVALCANTE e CAVALCANTE, 2006). Segundo Richard (1954) e Bernardo (2006), um solo é considerado salino quando apresenta condutividade elétrica do extrato de saturação maior que 4 dS m⁻¹, a 25°C, PST (porcentagem de sódio trocável do solo) menor que 15 e pH maior que 8,5.

Os problemas de salinidade se confundem com a própria formação do solo, que é um produto da intemperização das rochas, envolvendo processos físicos, químicos e biológicos, mediante a ação de fatores como clima, relevo, organismos vivos e o tempo (PAZ, 2000). A origem da salinidade tem duas vertentes: uma que está associada às causas naturais

(salinização primária) e a outra relacionada à atividade humana (salinização secundária ou antrópica). Nas transformações químicas das rochas (intemperismo químico), especialmente àquelas sobre os minerais primários, os sais de fósseis remanescentes de ambientes marinhos e lacustres são os principais fatores responsáveis pela salinização primária (AYES e WESTCOT, 1991). A água de má qualidade, associada ao manejo inadequado da irrigação e de drenagem, estão diretamente relacionadas à salinização secundária (GHEYI, 2000).

A salinização secundária é causada pelas ações antrópicas, tais como práticas de irrigação inadequadas com águas contendo elevados teores de sais e acompanhados de solos com drenagem ineficiente. De acordo com Ayers e Westcot (1999) a intensidade da salinização do solo depende de inúmeros fatores, tais como condições climáticas (altas temperaturas, baixa pluviosidade e intensa evaporação) e manejo inadequado da irrigação.

O processo de salinização dos solos e das águas subterrâneas e superficiais é um dos mais importantes problemas de degradação ambiental, com seus efeitos prejudiciais sendo mais pronunciados nas regiões áridas e semiáridas, e que vem crescendo rapidamente em diversas partes do globo terrestre, causando problemas de grandes proporções na produtividade das culturas agrícolas. Estimativas da FAO (2003) indicaram que, dos 270 milhões de hectares irrigados no mundo, aproximadamente 50% já apresentam problemas de elevação do lençol freático e que 1 milhão de hectare é abandonado, anualmente, em virtude de problema de salinidade.

A recuperação de um solo salinizado implica em devolver-lhe as condições químicas, físicas e biológicas que garantam novamente a germinação das sementes, crescimento das plantas e produção economicamente viável. A correção ou recuperação de solos seriamente atingidos pelos sais, apesar de tecnicamente possível, é um processo lento, contínuo e oneroso (DINIZ, 1995; CAVALCANTE *et al.*, 2002).

2.2.2. A salinidade e o desenvolvimento das plantas

Em geral, a salinização do solo afeta negativamente a germinação, o estande de plantas, o desenvolvimento vegetativo das culturas, a produtividade e, nos casos mais graves, causa morte das plântulas (SILVA e PRUSKI, 1997). Os efeitos do excesso de sais solúveis se manifestam por meio da pressão osmótica elevada e à ação tóxica de alguns elementos, como o Na^+ e o Cl^- , que promovem distúrbios fisiológicos à planta, podendo ocasionar sua morte (MELLO *et al.*, 1983). De acordo com Fassbender e Bornemisza (1987), a influência da salinidade é comumente maior nas plantas jovens e no crescimento vegetativo. Para Brady (1989), os solos salinos exercem influência prejudicial sobre os vegetais, principalmente por causa de suas elevadas concentrações de sais solúveis. Altas concentrações de sais aumentam a retenção da água no solo e esta se torna cada vez menos acessível para as raízes das plantas.

De acordo com Miller e Donahue (1990), o aumento de sais na solução do solo força a planta a “gastar” mais energia para absorver água e excluir os excessos de sais de locais metabolicamente ativos. Segundo Larcher (2000), as plantas podem retirar água de um substrato salino, desde que desenvolvam um potencial osmótico mais baixo que o da solução do solo. As plantas adaptadas aos habitats salinos (halófitas) realizam isto pela acumulação e compartimentalização de sais nos vacúolos das células e, com este ajustamento, elas compensam o baixo potencial osmótico existente no meio salino.

Para Ayers e Westcot (1999), as plantas extraem água do solo quando as forças de embebição dos tecidos das raízes são superiores às forças de retenção da água exercida pelo solo e, conseqüentemente, à medida que a água é extraída do solo, as forças que a retêm tornam-se maiores podendo chegar ao ponto das forças de retenção serem maiores que a extração, iniciando assim o estado de escassez de água na planta. Em solos salinos, a deficiência hídrica é a maior causadora de redução na

produtividade do vegetal, alterando o crescimento e a fotossíntese (PIMENTEL *et al.*, 2002). Observa-se, também, que a redução do crescimento foliar nas plantas, diminuição da produção de massa seca das partes aérea e radicular podem ser influenciadas diretamente pelo acúmulo de altos teores de Na^+ e Cl^- nas folhas, ocasionando a diminuição do teor relativo de água, da pressão de turgescência e do potencial hídrico celular (LARCHER, 2000). Quando as plantas encontram-se em déficit hídrico elas podem utilizar mecanismos de tolerância, como o ajustamento osmótico, para conseguir manter o gradiente de potencial hídrico favorável à absorção de água.

Segundo Taiz e Zeiger (2008), o ajustamento osmótico é um processo pelo qual o potencial hídrico pode ser diminuído sem que haja decréscimo da turgescência ou do volume celular, pois com a manutenção da turgescência é possível a continuação do alongamento celular e uma condutância estomática mais alta sob potenciais hídricos mais baixos, sugerindo assim que o ajustamento osmótico seja um processo de aclimação que aumenta a tolerância das plantas ao estresse salino.

O efeito osmótico tem sido a maior causa da redução do crescimento das plantas, associado à toxicidade de íons pela absorção excessiva de Na^+ e Cl^- e do desequilíbrio nutricional causado pelos distúrbios na absorção ou distribuição de nutrientes essenciais. Por exemplo, um excesso de Na^+ e de Cl^- no protoplasma ocasiona distúrbios, afetando a cadeia respiratória, a assimilação de nitrogênio e o metabolismo das proteínas. Esses íons começam a inibir a maioria das enzimas envolvidas nesses processos a uma concentração acima de 100 mM (LARCHER, 2000; MUNNS, 2002).

De acordo com Ayers e Westcot (1999) os problemas de toxicidade surgem quando certos íons do solo ou da água são absorvidos pelas plantas e acumulados em seus tecidos em concentrações suficientemente altas para provocar danos e reduzir seus rendimentos. Segundo estes autores, a magnitude destes danos depende da quantidade de íons absorvidos e da sensibilidade das plantas.

O estresse salino também pode reduzir a absorção e transporte de elementos essenciais ao desenvolvimento e crescimento das plantas, ocasionando o desequilíbrio nutricional que constitui um importante componente do estresse salino. Por exemplo, a deficiência de Ca^{2+} pode ser induzida pelo excesso de Na^+ ou SO_4^{-2} , e a de K^+ por excesso de Na^+ ou Ca^{2+} , assim como altas concentrações de Mg^{2+} podem inibir a absorção de K^+ ou Ca^{2+} (MARSCHNER, 1995). Segundo este autor, o Cl^- é o ânion mais tóxico, e o Na^+ o cátion que mais prejudica o metabolismo das plantas.

2.2.3. Tolerância da bananeira à salinidade

A salinidade é uma das principais formas de estresse ambiental responsável por afetar o desenvolvimento das culturas. Como discutido anteriormente, o estresse salino inibe o crescimento vegetal pelo aumento da pressão osmótica, restringindo a disponibilidade de água, causando toxicidade e desordem nutricional; além de induzir modificações morfológicas, estruturais e metabólicas. O grau em que cada componente do estresse salino influencia no crescimento das plantas é dependente de muitos fatores, destacando-se, dentre eles a espécie vegetal, cultivar, estágio fenológico, composição salina do meio e condições edafoclimáticas (SHANNON e GRIEVE, 1999).

A redução no crescimento e desenvolvimento da bananeira tem-se tornado recorrente e, tem sido observada em diversas pesquisas, quando as plantas são submetidas ao estresse salino. A redução no potencial hídrico da solução do solo, dificultando a absorção de água pelas raízes (GONDIM *et al.*, 2002) implica em menor crescimento de células e tecidos, menor incremento em altura da planta, número de folhas, área foliar e, conseqüentemente, menor produtividade para a cultura da banana (CARMO *et al.*, 2003).

Outro fator a ser considerado é a diminuição nas taxas fotossintéticas sob condições de estresse salino (MELONI *et al.*, 2001; PEREIRA *et al.*,

2004). A diminuição da fotossíntese sob condições de estresse salino tem sido atribuída ao fechamento dos estômatos, para evitar a perda excessiva de água. Em virtude do fechamento estomático, a aquisição e fixação de CO₂ no processo fotossintético são reduzidas, comprometendo o crescimento e a produtividade das culturas.

As bananeiras estão classificadas no grupo das glicófitas, ou seja, plantas sensíveis à salinidade e, para seu bom desenvolvimento vegetativo, requer valores de condutividade elétrica da água de irrigação menores que 1,0 dS m⁻¹ (ABREU *et al.*, 1982). De acordo com esses mesmos autores, o aumento da condutividade para 6,0 dS m⁻¹ na irrigação da cultivar “Nanica”, levou a decréscimos de 40% na produtividade, além de atraso na emissão do cacho em, aproximadamente, um mês.

No entanto, de acordo com Israeli *et al.* (1986), o desenvolvimento da bananeira é reduzido quando o cultivo é realizado em solos com condutividade elétrica do extrato saturado maior que 3,0 dS m⁻¹. Silva *et al.* (1997) relataram que a bananeira é considerada uma planta moderadamente sensível à salinidade, e que o estudo do comportamento de determinadas cultivares ao estresse salino pode servir de subsídio para a indicação de seu plantio em áreas onde este problema existe, sendo uma das alternativas a obtenção de cultivares adaptadas a essas condições.

Monte (2003) observou que as cultivares de bananeira ‘Pacovan’ e ‘Maçã’, nos estágios iniciais de desenvolvimento, mostraram-se moderadamente sensíveis à salinidade. Carmo (2003) verificou que o crescimento das bananeiras ‘Pacovan’ e ‘Marmelo’ foi afetado negativamente pelo aumento da salinidade, verificando-se reduções na altura e diâmetro do pseudocaule. Araújo Filho *et al.* (1995), estudando a salinidade em bananeira, observaram redução de 17 a 28% na altura das plantas em comparação com bananeiras cultivadas em solo não salino. Resultados semelhantes foram obtidos por Neves *et al.* (2002) e Gomes *et al.* (2005), no qual os autores ressaltaram que a bananeira é sensível à salinidade.

2.3. Microbiota do solo

Várias propriedades dos solos são decorrentes das atividades biológicas, visto que as relações e as interações entre os organismos do solo contribuem para diversos processos e para a manutenção da vida no solo. A biota do solo inclui representantes de todos os grupos de microrganismos, algas e quase todos os filos animais. Em termos de biomassa os organismos do solo podem exceder mais de 10 toneladas por hectare, quantidade esta, equivalente ou até maior que as melhores produções agrícolas sendo os fungos e as bactérias aqueles que apresentam maior biomassa (SIQUEIRA e MOREIRA, 2006).

A presença dos microrganismos em determinado solo é função das condições ambientais dominantes e da rapidez de suas respostas fisiológicas a essas condições, sendo que algumas espécies de microrganismos podem sobreviver em condições extremas de salinidade, temperatura, pressão e pH. Além disso, os microrganismos, de modo geral, são muito versáteis em adaptar-se às mudanças ambientais (SIQUEIRA e MOREIRA, 2006).

Os organismos participam ativamente da decomposição de resíduos orgânicos, dos ciclos biogeoquímicos, da decomposição de poluentes adicionados no solo e da agregação das partículas do solo. As pesquisas desenvolvidas nas últimas décadas geraram inúmeros resultados que contribuíram para melhor conhecimento das propriedades dos organismos do solo e o melhor entendimento dos processos biológicos que influenciam a produtividade agrícola. Vale salientar que a biodiversidade e a atividade desses organismos no solo são fatores de fundamental importância para indicar e mensurar o equilíbrio e a qualidade do solo.

Dessa forma, o solo representa um sistema altamente heterogêneo e dinâmico, onde os componentes das frações sólidas fornecem uma gama de micro-habitat (VAN ELSAS *et al.*, 2006), promovendo o desenvolvimento e a manutenção de um número extremamente elevado de nichos (TIEDJE *et al.*, 2001; ETTEMA e WARDLE, 2002).

Em relação à funcionalidade microbiana nos solos, sabe-se que estes organismos podem apresentar papel essencial ao crescimento e à produtividade das culturas. Os benefícios diretos dos organismos às plantas são obtidos por meio das relações mutualísticas, onde os compostos produzidos por eles melhoram a disponibilidade de nutrientes e induzem o desenvolvimento das plantas (THOMSON *et al.*, 2010; MANGAN *et al.*, 2010).

No solo, existe uma ampla variedade de fatores ambientais que podem influenciar a atividade dos microrganismos, incluindo pH, salinidade e abundância de carbono (LOGUE e LINDSTROM, 2010; NEMERGUT *et al.*, 2010). Portanto, devido à importância da biomassa microbiana para o funcionamento e qualidade do solo, a compreensão da sua dinâmica neste ambiente é fundamental para prever as consequências de futuras alterações, tanto de caráter produtivo, quanto ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, H. J. M.; MASCRELL, J.; DUART, S.; SOCORRO, A. R. Na and Cl content in banana plants of the Canaria Islands. **International Banana Nutrition Newsletter**, Nedlands. v.5. p.13-14. 1982.

ARAÚJO FILHO, J. B.; GHEYI, H. R., AZEVEDO, N. C.; SANTOS, J.G.R. Efeitos da salinidade no crescimento e no teor de nutrientes em cultivares de bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19. p: 417-422. 1995.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A. **Qualidade da água na agricultura**. (Trad) GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DAMASCENO, F. A. Campina Grande: UFPB (Estudos da FAO, Irrigação e Drenagem, 29), 1999. 218 p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Viçosa: Imprensa Universitária, UFV. 2006. 625 p.

BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A. M. G. Nutrição, calagem e adubação. In: CORDEIRO, Z. J. M. (org.). **Banana produção: aspectos técnicos**. Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de tecnologia. p.47-59. 2000.

BORGES, A. L.; CALDAS, R. C. Teores de nutrientes nas folhas de bananeira, cv. Pacovan, sob irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**. v.28. p.1099-1106. 2004.

BORGES, A. L.; SOUZA, L. da S. **O cultivo da bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura. 2004. 279p.

BRADY, N. C.; **Natureza e propriedades dos solos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 878 p. 1989.

BRASIL, E.C.; OEIRAS, A.H.L.; MENEZES, A.J.E.A. de; VELOSO, C.A.C. Desenvolvimento e produção de frutos de bananeira em resposta à adubação nitrogenada e potássica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília. v.35. p.2407-2414.2000.

CANTARELLA, H.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N. F. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS/UFV. p. 375-470. 2007.

CANTARUTTI, R. B. *et al.* Avaliação da fertilidade do solo e recomendações de fertilizantes. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 769-850. 2007.

CARMO, G. A.; MEDEIROS, J. F.; TAVARES, J. C.; GHEYI, H. R.; SOUZA, A. M.; PALÁCIO, E. A. Q. Crescimento de bananeiras sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal. p.513-518. 2003.

CAVALCANTE, L. F.; CAVALCANTE, Í. H. L. Uso da água salina na agricultura. In: CAVALCANTE L. F., LIMA E. M., (Eds.). **Algumas frutíferas tropicais e a salinidade**, FUNEP, Jaboticabal, Brazil, p.1-12. 2006.

CAVALCANTE, L.F.; LIMA, R.L.S.; SANTIAGO, R.D.; CAVALCANTE, Í. H. L.; ARAÚJO, F.A.R. Melhoria química e física de um solo salino-sódico tratado com matéria orgânica e cultivado com leguminosas forrageiras. **Ciência Agrícola**, Rio Largo, v.6, n.1, p.27- 35, 2002.

CENTEC. **Produtor de banana**. Instituto Centro de Ensino Tecnológico. Ed.ver. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha; Ministério da Ciência e Tecnologia (Caderno tecnológico). 64p. 2004.

CHEN, G.H.; WONG, M.T. Impact of increased chloride concentration on nitrifying activated sludge cultures. **Journal of Environmental Engineering**, Reston. v.130, p.116–125. 2004.

CHRISTENSEN, N.W.; TAYLOR, R.G.; JACKSON, T.L.; MITCHELL, B.L. Chloride effects on water potentials and yield of winter wheat infected with take-all root rot. **Agronomy Journal**, Madison.v.73. p.1053-1058. 1981.

COLOMBIA. **Cultive bien el plátano**. Bogotá, F.N.C.C. (Boletim de extension nº 49). 1974. 40 p.

CRAINE, J.M.; MORROW, C.; FIERER, N. Microbial nitrogen limitation increases decomposition. **Ecology**. v.88, p.2105-2113. 2007.

DAMATTO JUNIOR, E. R. *et al.* Avaliação nutricional em folhas de bananeira ‘Prata Anã’ adubadas com composto orgânico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal. v. 28. n.1. p.109-112. 2006.

DINIZ, I. A. **Cultivo do feijão guandu (Cajanus cajan) em solo salinizado tratado com matéria orgânica e drenagem**. 1995. 50f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Areia, PB. 1995.

ETTEMA, C.H.; WARDLE, D.A. Spatial soil ecology. **Trends in Ecology and Evolution**, Cambridge.v. 17, p.177-183.2002.

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Consumo per capita de banana**. 2009. Disponível em <<http://faostat.fao.org/site/609/DesktopDefault.aspx?PageID=609#ancor>>. Acesso em: 7 fev 2018.

FAO. The irrigation challenge: increasing irrigation contribution to food security through higher water productivity. Rome, IPTRID. **Issue Paper** N°.4, 25p. 2003.

FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. **Química de suelos: con énfasis em suelos de América latina**. San José, Costa Rica: Servicio Editorial IICA.1987. 405p.

FISK, M.; SANTANGELO, S.; MINICK, K. Carbon mineralization is promoted by phosphorus and reduced by nitrogen addition in the organic horizon of northern hardwood forests. **Soil Biol. Biochem.** v.81, p.212-218. 2015.

GANGA, R.M.D. Resultados parciais sobre o comportamento de seis cultivares de banana (*Musasp.*) em Jaboticabal.In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17. Belém. **Anais...** Belém Embrapa/DDT, 2002.

GCEA-MG. **Levantamentos sistemático da produção agrícola**. Belo Horizonte: IBGE. 2015.44p.

GHEYI, H. R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T.; ASSIS JUNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (eds), **Agricultura, Sustentabilidade e o Semi-Árido**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do solo. p.329-345. 2000.

GOMES, E. W. F.; WILLADINO, L.; MARTINS, L. S. S.; SILVA, S. O.; CAMARA, T. R. Variedades de bananeira tratadas com água salinizada em fase inicial de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9. p.31-36. 2005.

GONDIM, A. R. O.; MEDEIROS, J. F.; LEVIEN, S. L. A.; CARMO, G. A. Coeficiente de cultura e salinidade do solo na fase reprodutiva da bananeira irrigada com diferentes níveis de salinidade. **Anais...** Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, v.31. 2002.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017 **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_2017.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2018.

IFA.INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION (Paris). **World Fertilizer Use Manual**. Limburgerhof: BASF Agricultural Research Station, 1992. 631p.

ISRAELI, Y.; LAHAV, E.; NAMERI, N. The effect of salinity and sodium absorption ratio in the irrigation water on growth and productivity of bananas under drip irrigation conditions. **Fruits**, Paris, v.41. p. 297-302. 1986.

KANDELER, E. **Bodenbiologische Arbeitsmethoden**. Heidelberg: Springer-Verlag, 1993. 377 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA. 2000. 531p.

LOGUE, J.B.; LINDSTROM, E.S. Species sorting affects bacterioplankton community composition as determined by 16S rDNA and 16S Rrna fingerprints. **ISME Journal**, London. v. 4, p.729–738. 2010.

LOPEZ, A.; ESPINOSA, M.J. **Manual de nutrición y fertilización del banano**. Quito: Intituto de la Patassa y el Fósforo, 1995.85p.

MANGAN, S.; SCHNITZER, S.; HERRE, E.; MACK, K.M.L.; VALENCIA, M.C.; SANCHEZ, E.I.; BEYER, J.D. Negative plant-soil feedback predicts treespecies relative abundance in a tropical forest. **Nature**, London.v. 466.n.7307. p.752-755. 2010.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**.(2.ed.) London:Academy Press. 1995. 889p.

MCGUIRE, M.J.; LIEU, N.I.;PEARTHREE, M.S. Using chlorite ion to control nitrification. **Journal of the American Water Works Association**. v.91: p.52–61. 1999.

MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C. **Fertilidade do solo**. (4.ed.) São Paulo:Nobel. 1983. 400 p.

MELO, F. B.; CARDOSO, M. J.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RIBEIRO, V. Q. Crescimento e produção de frutos de bananeira cultivar “Grand Naine” relacionados à adubação química. **Revista Ciência Agronômica**.v.37, n.2, p.246-249. 2006.

MELONI, D. A.; OLIVA, M. A.; RUIZ, H. A.; MARTINEZ, C. A. Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton

under salt stress. **Journal of Plant Nutrition**, Atenas. v.24. p.599-612. 2001.

MILLER, R.; DONAHUE, R.L. **Soils: an introduction to soils and plant growth**. New Jersey, EUA: Prentice Hall – Englewood Cliffs, 1990.

MONTE, W. B.; HERNANDEZ, F. F. F.; LACERDA, C. DE F.; NESS, R. L. L. Crescimento e teores de minerais em plantas jovens de duas cultivares de bananeira submetida a estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**. v.35. p.157 - 164. 2003.

MOREIRA, R. S. **Banana** – teoria e prática de cultivo. São Paulo: Fundação Cargill, 1999. 2 ed. CD-ROM.

MOREIRA, R. S. **Banana: teoria e pratica de cultivo**. Campinas-São Paulo. Fundação Cargil. 1987. 335p.

MUNNS, R. **Comparative physiology of salt and water stress**. Plant, Cell and Environment, Logan, v.25. p. 239-250. 2002

MUNNS, R.; TERMAAT, A. Whole plant responses to salinity. **Austr. J. Plant Physiol.**, v.13, n.1, p.143-160. 1986.

NEMERGUT, D.R.; CLEVELAND, C.C.; WIEDER, W.R.; WASHENBERGER, C.L. TOWNSEND, A.R. Plot-scale manipulations of organic matter inputs to soils correlate with shifts in microbial community composition in a lowland tropical rain forest. **Soil Biology and Biochemistry**, Kidlington. v. 42. p.2153–2160. 2010.

NETO, A. R.; MELO, B. Núcleo de fruticultura - ICIAG – Universidade Federal de Uberlândia. **Cultura da bananeira** (texto): fotos da cultura (variedades, deficiências, pragas e doenças) · mal de sigatoka. 2003. Disponível em> www.fruticultura.iciag.ufu.br/banana.html< Acesso em 29 de outubro de 2017.

NEVES, L.L.M.; SIQUEIRA, D.L.; PAULO, R.C.; MARTINEZC. A.; SALOMÃO, L.C.C. Crescimento, trocas gasosas e potencial osmótico da bananeira “prata”, submetida a diferentes doses de sódio e cálcio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, SP. v. 24. p.524-529. 2002.

PAZ, O. P. **Caracterização de germoplasma de bananeira com RAPD**. 2000. 67p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Cruz das Almas, BA. 2000.

PENNINGS, SC.; CALLAWAY, RM. Salt marsh plant zonation: the relative importance of competition and physical factors. **Ecology**. v.73, n. 2. p.681-690. 1992.

PEREIRA S. V.; COSME R. M.; EVERALDO R. P.; BEATRIZ R. B. O.; LEONOR C. M. Atividade microbiana em solo do Semi-Árido sob cultivo de *Atriplex nummularia*. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.8. p.757-762. 2004.

PIMENTEL, C. Tolerância Protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivadas em campo. **Revista Universidade Rural**. Série Ciências da vida. v.1. p.7-14. 2002.

PREZOTTI, C. **Recomendações de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**: 3ª aproximação. Vitória: EMCAPA (Circular Técnica, 12). 1992. 73 p.

RAMIREZ, K.S.; CRAINE, J.M.; FIERER, N. Consistent effects of nitrogen amendments on soil microbial communities and processes across biomes. **Glob.Change Biol**. v.18, p.1918-1927. 2012.

RICHARDS, L. A. (Ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils** Washington, DC: United States Salinity Laboratory Staff (USDA.Agriculture Handbook, 60). 1954. 160p.

ROSA JÚNIOR, C. D. R. M. **Bananeira: cultivo sob condição irrigada**. 2. ed. Recife: Sebrae. 2000. 51p.

SANTOS, V. P.; FERNANDES, P. D.; MELO, A. S.; SOBRAL, L.F.; BRITO, M. E. B.; DANTAS, J. D. M.; BONFIM, L.V. Fertirrigação da bananeira cv. Prata-anã com N e K em um argissolo vermelho-amarelo. **Rev. Bras. Frutic**.v.31. n. 2. p. 567-573. 2009.

SHANNON, M. C.; GRIEVE, C. M. Tolerance of vegetable crops to salinity. **Scientia Horticulturae**, v.78, p.5-38. 1999.
SILVA, C.U. C.; ROCHA, P.S.; BURITY, M.P.; CÂMARA, T.R.; WILLADINO, L. Efeito de diferentes níveis de NaCl sobre o desenvolvimento in vitro de bananeira (*Musa sp.* Cv. 'Nanicão'). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 6., 1997, Belém, **Anais...** Belém: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal-PA. p.152. 1997.

SILVA, D.; PRUSKI, F. F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: MMA, SBH, ABEAS. 1997. 252p.

SILVA, F. C. da (Org). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

SILVA, J. T. A.; BORGES, A. L. Solo, nutrição mineral e adubação da bananeira, **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte. v. 29. n. 245. p. 25-37. 2008.

SILVA, J. T. A.; SIMÃO, F. R. Produção, nutrição e incidência do mal do Panamá em bananeira 'Prata Anã' adubada com potássio. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.50, n.9, p.807-813. 2015.

SILVA, J.T.A. da; RODRIGUES, M.G.V. Avaliação nutricional, produção e incidência do mal-do-panamá em bananeira 'Prata-Anã' (AAB) adubada com K, no quarto ciclo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.35, p.1170-1177, 2013.

SILVA, J.T.A. Solo, adubação e nutrição para bananeira. **Informe Agropecuário**. Cultivo da bananeira. v. 36, n. 288. p.74-83. 2015.

SILVA, J.T.A.; BORGES, A.L.; DIAS, M.S.C.; COSTA, E.L.; PRUDÊNCIO, J.M. **Diagnóstico nutricional da bananeira 'Prata Anã' para o Norte de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Epamig (Boletim Técnico, 70) 2002b. 16p.

SILVA, S. de O.; FLORES, J. C. de O.; LIMA NETO, F. P. Avaliação de cultivares e híbridos de bananeira em quatro ciclos de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 37, p. 1567-1574, 2002a.

SILVA, T.O.; BORGES, A.L.; CARVALHO, J.G.; DAMASCENO, J.E.A. Adubação com potássio e nitrogênio em três ciclos de produção da bananeira cv. Prata-Anã. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v.25, n.1. p. 152-155. 2003.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, S. de M. F. **Biologia e Bioquímica do solo**. 2006. 291p. Graduação "Lato Sensu" (Especialização) - Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras, MG.2006.

SPOHN, M.; PEOTSCH, E. M.; EICHORST, S. A.; WOEBKEN, D., WANEK, W.; RICHTER, A. Soil microbial carbon use efficiency and biomass turnover in a longterm fertilization experiment in a temperate grassland. **Soil Biology and Biochemistry**.v.97 p. 168-175. 2016.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**.4. ed. Porto Alegre: Artmed.2008. 719p.

THOMSON, B.C.; OSTLE, N.; McNAMARA, N.; BAILEY, M.; WHITELEY, A.S.; GRIFFITHS, R.I. Vegetation affects the relative abundances of dominant soil bacterial taxa and soil respiration rates in an upland grassland soil. **Microbial Ecology**, New York. v.59. p. 335-343, 2010.

TIEDJE, J.M.; CHO, J.C.; MURRAY, A.; TREVES, D.; XIA, B.; AHOU, J. Soil teeming with life: new frontiers for soil science. In: REES, R.M.; BALL, B.C.; CAMPEBELL, C.D.; WATSON, C.A. (Org.). **Sustainable management of soil organic matter**. Wallingford: CAB International. p. 393-412. 2001.

VAN ELSAS, J.D.; JANSSON, J.K.; TORSVIK, V.; HARTMANN, A.; TREVORS, J.T. (Ed.) **Modern Soil Microbiology II**, Boca Raton, Florida, Editora CRC. p. 83-106. 2006.

VERNEQUE, R. S. Tecnologia promove sucesso da bananaicultura. **Informe Agropecuário**. Cultura da bananeira. v.36. n.288. 2015.

VIEIRA-MEGDA, M.X.; TRIVELIN, P.C.O.; MARIANO, E.; LEITE, J.M.; MEGDA, M.M. Chloride ion as nitrification inhibitor and its biocidal potential in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 72, p. 84-87, 2014.

WADE, H.E. Influence of chloride and nitrogen form on rhizoctonia root and crown rot of table beets. **Plant Disease**, St. Paul, v. 81, p.635-640, 1997.

**CAPÍTULO I - ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO
EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE CLORETO DE
POTÁSSIO E SULFATO DE AMÔNIO**

RESUMO

VIANA, Nayara Ellane Pereira. **A atividade microbiana do solo em função da aplicação de cloreto de potássio e sulfato de amônio.** 2018. 39p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG.³

A salinidade dos solos é um importante fator de estresse, ocorrendo em regiões áridas e semiáridas do território brasileiro. A aplicação de altas doses de fertilizantes potássicos e nitrogenados nas culturas pode aumentar a concentração eletrolítica da solução do solo, inibindo a atividade microbiana. Objetivou-se avaliar a aplicação de doses de cloreto de potássio e sulfato de amônio no acúmulo de sais no solo e seus efeitos na atividade microbiana. O experimento foi conduzido em laboratório, sob condições de incubação aeróbia. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico e o delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com 4 repetições, em esquema fatorial 5 x 2 (+ 1 tratamento adicional) correspondendo a 5 doses de potássio (0, 50, 100, 200 e 400 mg dm⁻³ de K₂O aplicadas na forma de cloreto de potássio - KCl) e 2 doses de nitrogênio (200 e 400 mg dm⁻³ de N na forma de sulfato de amônio - (NH₄)₂SO₄), além de uma parcela controle (sem aplicação de K₂O e N), totalizando 44 unidades experimentais. O solo foi pré-incubado por 30 dias em temperatura ambiente e a 50% da capacidade máxima de retenção de água (CMRA). Após o período de pré-incubação a umidade do solo foi corrigida para 70% da CMRA e os tratamentos foram aplicados. Em seguida, as amostras foram incubadas, por um período de 90 dias em temperatura ambiente. As variáveis avaliadas foram condutividade elétrica da solução do solo (CE), teor de amônio (N-NH₄⁺), teor de cloreto (Cl⁻) aos 15, 30, 45, 60 e 90 dias após a incubação – DAI e carbono mineralizável (C-CO₂) aos 30, 45, 60 e 90 DAI. A interação K x N foi significativa para todas as variáveis estudadas. O aumento das doses de KCl e (NH₄)₂SO₄ ocasionou acúmulo na concentração dos íons Cl⁻ e NH₄⁺ na solução do solo em curto período de tempo e, conseqüente, aumento da CE. Houve redução da atividade microbiana e, portanto, da emissão do carbono mineralizável do solo na forma de CO₂, o que implicou na inibição do processo de mineralização do N-orgânico e da nitrificação. Conclui-se, portanto, que elevadas concentrações de íons Cl⁻ e NH₄⁺ na solução do solo, em função das adubações excessivas com KCl e (NH₄)₂SO₄, têm ação deletéria na atividade dos microrganismos, especialmente os oxidantes, afetando as transformações do N no solo.

Palavra-Chave: Doses de nitrogênio, Doses de potássio, Respirometria, Cloreto, Salinidade, Mineralização, Nitrificação.

³**Comitê orientador:** Prof. D.Sc. Michele Xavier Vieira Megda (Orientadora) – UNIMONTES; Prof. D.Sc. Marcio Mahmoud Megda (Coorientador) – UNIMONTES.

ABSTRACT

VIANA, Nayara Ellane Pereira. **Soil microbial activity as a function of the application of potassium chloride and ammonium sulfate.** 2018. 39p. Dissertation (Master's Degree in Plant Production in the Semi-Arid) - State University of Montes Claros, Janaúba, MG.⁴

Soil salinity is an important stress factor, occurring in arid and semi-arid regions of the Brazilian territory. The application of high doses of potassic and nitrogen fertilizers in the crops can increase the electrolyte concentration of the soil solution, inhibiting the microbial activity. The objective of this study was to evaluate the application of potassium chloride and ammonium sulfate in the accumulation of salts in the soil solution and its effects on microbial activity. The experiment was conducted in the laboratory under aerobic conditions. The soil was classified as Typic Hapludox and the experimental design was a completely randomized with 4 replicates, in factorial scheme 5 x 2 (+ 1 additional treatment) corresponding to 5 doses of potassium (0, 50, 100, 200 and 400 mg dm⁻³ of K₂O applied in the form of potassium chloride - KCl) and 2 doses of nitrogen (200 and 400 mg dm⁻³ of N as ammonium sulphate - (NH₄)₂SO₄), besides of one control plot (without application of K₂O and N), totaling 44 experimental units. The soil was preincubated for 30 days at room temperature and at 50% of the water hold capacity (WHC). After the preincubation period the soil moisture was corrected to 70% of the WHC and the treatments were applied. The samples were then incubated for a period of 90 days at room temperature. The variables evaluated were soil electrical conductivity (EC), ammonium content (N-NH₄⁺), chloride content (Cl⁻) at 15, 30, 45, 60 and 90 days after incubation - DAI and mineralizable carbon (C-CO₂) at 30, 45, 60 and 90 DAI. The interaction K x N was significant for all variables studied. The increase of the KCl and (NH₄)₂SO₄ doses caused an accumulation in the concentration of the Cl⁻ and NH₄⁺ ions in the soil solution in a short period of time and, consequently, an increase in the EC. There was a reduction in the microbial activity and therefore the emission of the mineralizable carbon of the soil as CO₂, which implied in the inhibition of the N-organic mineralization process and nitrification. It is concluded that high concentrations of Cl⁻ and NH₄⁺ ions in the soil solution, due to excessive fertilization with KCl and (NH₄)₂SO₄, have deleterious effects on the activity of microorganisms, especially oxidants, affecting the N transformations in the soil.

Keywords: Nitrogen doses, Potassium doses, Respirometry, Chloride, Salinity, Mineralization, Nitrification.

⁴**Guidance committee:** Prof. D.Sc. Michele Xavier Vieira Megda (Advisor) – UNIMONTES; Prof. D.Sc. Marcio Mahmoud Megda (Co-advisor) - UNIMONTES.

1 INTRODUÇÃO

No mundo, 230 milhões de hectares da área irrigada apresentam problemas de salinidade, representando quase 20% da área produtiva mundial. No Brasil, estima-se que aproximadamente 9 milhões de hectares de solos são afetados pela presença de sais (FAO, 2011). No Nordeste, em torno de 25% da área irrigada encontra-se salinizada, limitando severamente a produção agrícola nessa região (MEDEIROS *et al.*, 2016).

De acordo com Ferreira (1998) e Dantas *et al.* (2006), a origem da salinização dos solos é consequência tanto de processos naturais (salinização primária) como de processos antrópicos (salinização secundária). Inúmeros fatores têm contribuído progressivamente para salinização das áreas irrigadas no semiárido brasileiro (BARROS *et al.*, 2008; MOREIRA *et al.*, 2016), tais como o clima (alta taxa de evapotranspiração e baixa pluviosidade), material de origem do solo (minerais primários), manejo inadequado da irrigação (água de baixa qualidade e em solos com péssima drenagem) e às adubações contínuas e mal conduzidas (MEDEIROS *et al.*, 2016).

Atualmente, vários programas de fertilização recomendam a aplicação de altas doses de K_2O e N , sendo o cloreto de potássio (KCl) o fertilizante potássico mais utilizado mundialmente (RAIJ, 1991) e o sulfato de amônio ($(NH_4)_2SO_4$) a segunda fonte de nitrogênio mais aplicada (VOLK, 1959), porém, ambos possuem alto poder salino. Deste modo, no momento de definir a dose de KCl e $(NH_4)_2SO_4$ a ser administrada na implantação da cultura, é importante considerar o potencial de salinização, pois podem afetar significativamente o desenvolvimento da planta, a microbiota do solo e as características químicas e físicas do solo e, em alguns casos, ser persistente ao longo do tempo (TÔRRES *et al.*, 2004), alterando a microbiota do solo.

Intrasungkha *et al.* (1999) avaliaram o efeito da salinidade nos vários grupos bacterianos responsáveis pela nitrificação e, constataram que concentrações elevadas de sais tem efeitos negativos sobre a matéria orgânica e o ciclo do nitrogênio. Do mesmo modo, Panswad e Anan (1999) afirmam que a nitrificação é o processo mais sensível quando em contato com elevadas concentrações salinas. De acordo com esses mesmos autores, o aumento gradual de 0 a 18 g L⁻¹ de Cl⁻ causa perdas da atividade nitrificante de 33 a 55% dos microrganismos.

O índice salino representa a capacidade do adubo de aumentar a pressão osmótica da solução do solo, podendo ser determinado por meio da condutividade elétrica da solução. O potencial de salinização de um adubo depende da solubilidade e de sua natureza química. Com relação ao KCl e, considerando como referência o nitrato de sódio (índice salino = 100), o índice salino deste fertilizante é de 116, enquanto o do sulfato de amônio é de 69 (MALAVOLTA, 2006).

A aplicação de seis doses de KCl (0, 20, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ de K₂O) em cinco solos com teores contrastantes de argila resultou em valores de CE até dez vezes maiores do que os registrados quando não se aplicou o fertilizante, para a maioria dos solos (SANGOI *et al.*, 2009). Nesse mesmo estudo, os autores observaram que em solos com maior teor de argila, Latossolo e Nitossolo, por exemplo, há maior retenção de íons salinos.

Souri (2010) ao avaliarem o potencial do KCl como inibidor da nitrificação nas doses 100, 250 e 500 mg kg⁻¹ de Cl⁻, verificou redução da concentração de N-NO₃ na dose acima de 100 mg kg⁻¹ de Cl⁻. Conforme esse autor, o Cl⁻ tem maior ação biocida no processo de nitrificação do que o SO₄²⁻.

De acordo com Webber *et al.* (1987), elevadas concentrações de N podem apresentar efeito inibidor da atividade microbiana, devido ao aumento excessivo na concentração iônica da solução do solo, bem como o aumento da acidez. Resultados semelhantes foram encontrados por

Sorderstrom *et al.*(1983) ao avaliarem o efeito da aplicação de nitrato de amônio em solo podzólico na mineralização do carbono.

Existem poucos trabalhos que avaliaram o efeito tóxico da adição de KCl e $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ no solo, relacionados à quantidade aplicada e seus efeitos na microbiota do solo. Dessa forma, objetivou-se avaliar a combinação de doses de cloreto de potássio e sulfato de amônio no acúmulo de sais no solo e o seu efeito na atividade da biomassa microbiana em condições aeróbicas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização do solo

O solo foi coletado no município de Riacho dos Machados – MG, em março de 2016, na profundidade de 0 a 20 cm, sob vegetação de cerrado, com mata preservada. Segundo a classificação de Köppen, a referida região apresenta clima do tipo Aw' (tropical com inverno seco), altitude de 900 m, coordenadas geográficas: 16° 5' 35" S e 43° 2' 54" W.

O solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico, foi caracterizado com relação às suas características físicas e químicas no Laboratório de Solos da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG Norte (Tabela 1).

A partir do resultado da análise do solo, corrigiu-se a acidez com carbonato de cálcio (CaCO_3), até atingir 70% da saturação por bases (V%), sendo o fósforo aplicado na forma de superfosfato triplo ($63,7 \text{ mg dm}^{-3}$ da fonte, equivalente a $26,1 \text{ mg dm}^{-3}$ de P_2O_5). O suprimento de enxofre foi realizado indiretamente mediante as adubações nitrogenadas (na aplicação dos tratamentos), com sulfato de amônio (24% de S).

TABELA 1. Análises químicas e físicas do solo antes da aplicação dos tratamentos

Característica	Método	Unidade	Média
pH	Em água	-	4,0
MO ¹	Colorimetria	dag kg ⁻¹	2,7
P	Mehlich-1	mg dm ⁻³	0,6
K ⁺	Mehlich-1	mg dm ⁻³	35
Na ⁺	Mehlich-1	cmol _c dm ⁻³	0,1
Ca ⁺⁺	KCl 1 mol L ⁻¹	cmol _c dm ⁻³	0,5
Mg ⁺⁺	KCl 1 mol L ⁻¹	cmol _c dm ⁻³	0,2
Al ⁺⁺⁺	KCl 1 mol L ⁻¹	cmol _c dm ⁻³	0,9
H+Al	pH SMP	cmol _c dm ⁻³	12,0
SB ²	-	cmol _c dm ⁻³	0,9
t ³	-	cmol _c dm ⁻³	1,8
T ⁴	-	cmol _c dm ⁻³	12,9
V ⁵	-	%	7,0
m ⁶	-	%	51,0
B	CaCl ₂	mg dm ⁻³	0,2
Cu ⁺⁺	Mehlich-1	mg dm ⁻³	0,2
Fe ⁺⁺	Mehlich-1	mg dm ⁻³	73,8
Mn ⁺⁺	Mehlich-1	mg dm ⁻³	4,9
Zn ⁺⁺	Mehlich-1	mg dm ⁻³	1,1
CE ⁷	Em água	dS m ⁻¹	0,1
Areia		dag kg ⁻¹	34
Silte		dag kg ⁻¹	2
Argila		dag kg ⁻¹	64
Classificação textural do solo			Muito Argiloso

¹Matéria orgânica do solo; ²soma de bases; ³CTC efetiva; ⁴CTC a pH 7,0; ⁵ saturação por bases; ⁶saturação por alumínio; ⁷Condutividade elétrica do solo.

2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 11 tratamentos e 4 repetições, constituindo-se um fatorial 5 x 2 (5 doses de K₂O x 2 doses de N) + 1 parcela controle (sem aplicação de K₂O e N), totalizando 44 parcelas experimentais. As doses de potássio e nitrogênio utilizadas foram: 0, 50, 100, 200 e 400 mg dm⁻³ de K₂O aplicadas na forma de cloreto de potássio e 200 e 400 mg dm⁻³ de N na forma de sulfato de amônio.

Após a coleta, o solo foi seco à sombra, destorroado e passado em peneira de malha 2 mm, retirando-se os resíduos vegetais e obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). A capacidade máxima de retenção de água (CMRA) foi obtida a partir da saturação por capilaridade de amostras de solo de 80 g em copos plásticos por período de 3 horas e posterior drenagem da água livre por 6 horas adicionais. Em seguida, uma subamostra de solo foi seca em estufa a 105°C por 72 horas para determinação da umidade (BREMNER e SHAW, 1958).

As amostras de solo foram acondicionadas em vasos, e pré-incubadas com carbonato de cálcio a 50% da CMRA por um período de 30 dias em ambiente escuro e a temperatura ambiente, para restabelecimento da atividade microbiana. Durante esse período, a reposição de água destilada nas amostras de solo foi efetuada a cada três dias.

2.3 Instalação e condução do experimento

Ao fim do período de pré-incubação das amostras de solo, a fonte de K₂O e N (KCl e (NH₄)₂SO₄, respectivamente) foram solubilizadas em água destilada, em quantidade suficiente para elevação da umidade do solo a 70% da CMRA e incorporadas homogeneamente ao solo. Posteriormente, subamostras de 500 g de solo (base úmida) foram acondicionadas em sacos plásticos e acomodadas em recipientes metálicos com capacidade de 800

mL, vedados com filme plástico de PVC na parte superior e lacrados hermeticamente com tampa para evitar perdas de água por evaporação.

Em seguida, os solos das unidades experimentais foram incubados, por um período de 90 dias em temperatura ambiente. A umidade do solo foi monitorada semanalmente por meio de pesagens dos recipientes.

2.4 Avaliações

2.4.1 Condutividade elétrica do solo

As análises de condutividade elétrica do solo foram realizadas aos 15, 30, 45, 60 e 90 DAI e determinada de acordo com metodologia proposta por Raij *et al.* (2001), por meio de condutivimetria da solução na relação 1:5 (solo: água destilada – m/v), com correção dos valores de temperatura do extrato para 25°C.

2.4.2 Teor de amônio (N-NH₄⁺) no solo

As quantificações de N-amônio (N-NH₄⁺) no solo foram realizadas aos 15, 30, 45, 60 e 90 DAI em subamostras de 5 cm³ na base úmida. A extração foi realizada com KCl 2 mol L⁻¹ (na relação solo: solução 1:5 – m/v), sob agitação por 30 minutos (CANTARELLA e TRIVELIN, 2001) e, posterior filtração do sobrenadante. O N amoniacal foi determinado por destilação a vapor (método Kjeldahl).

2.4.3 Teor de cloreto no solo

O ânion cloreto (Cl⁻) foi extraído em solução aquosa aos 15, 30, 45, 60 e 90 DAI, na forma de Cl⁻ e o mesmo titulado com AgNO₃, na presença de dicromato de potássio – K₂CrO₄ como indicador. O ponto final de titulação, foi determinado pela coloração vermelho tijolo, resultante da formação de cromato de prata depois de toda a precipitação do cloro como AgCl (EMBRAPA, 1997).

2.4.4 Carbono mineralizável – Respiração microbiana

O método da respirometria ou carbono mineralizável tem como objetivo quantificar o quanto de carbono é emitido (respirado) pela microbiota do solo em um determinado período de tempo. O CO₂ emitido pela respiração da microbiota do solo foi estimado aos 30, 45, 60 e 90 DAI, em amostras de 50g de TFSA corrigidas para manutenção da umidade a 70% da CRMA.

As amostras de solo foram acondicionadas em frascos plásticos (de 500 cm³) vedados hermeticamente e mantidos em temperatura ambiente. O CO₂ produzido pela respiração da biomassa microbiana do solo foi capturado por uma solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹ e, em cada tempo de avaliação pré-determinado, procedeu-se a titulação com HCl 0,25 mol L⁻¹, usando-se como indicador a fenolftaleína a 1% (CURL e RODRIGUEZ-KABANA, 1972).

Foram utilizados como controle (branco), recipientes que não continham amostras de solo. A quantidade de CO₂ liberado foi calculada pela diferença entre volume gasto de HCl na titulação do branco e o volume gasto de HCl na titulação das amostras de solo, sendo o resultado expresso em mg de C-CO₂ 100 cm⁻³ de solo (STOTZKY, 1965; CURL e RODRIGUEZ-KABANA, 1972; ALEF, 1995).

A taxa respiratória (TR), expressa a quantidade de CO₂ liberado a partir da biomassa microbiana em função de um determinado período, isto é, a taxa de respiração ao dia. Esse valor foi estimado dividindo-se o somatório do CO₂ emitido aos 30, 45, 60 e 90 DAI pelo número total de dias de incubação (90 dias).

2.5 Análises Estatísticas

Os tratamentos foram comparados dentro de cada tempo de amostragem realizado ao longo do período experimental e os resultados

submetidos a análise de variância utilizando-se o teste F ao nível de 5% de probabilidade. Os desdobramentos das interações significativas para doses de K_2O dentro de cada dose de N foram realizados por estudo de regressão. Para avaliar a diferença de tratamentos entre as duas doses de nitrogênio e dentro de uma mesma dose de potássio aplicou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$). A diferença entre a parcela controle e os demais tratamentos (K x N) foi analisada por meio do teste de Dunnett ($p < 0,05$). Como ferramenta de auxílio às análises estatísticas, adotou-se os programas estatísticos SAS (Statistical Analysis System) e RStudio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram constatadas interações significativas ($p < 0,05$) entre as doses de K x N para a CE aos 15, 45, 60 e 90 DAI (Tabela 2) e, de forma geral, a maior dose de N (400 mg dm^{-3}) foi a que proporcionou os maiores valores de CE da solução do solo. O controle (tratamento adicional) diferiu dos tratamentos em todos os períodos avaliados, sendo estes superiores à parcela controle (Tabela 2).

A CE variou entre $0,12 \text{ dS m}^{-1}$ para a parcela controle a $0,84 \text{ dS m}^{-1}$ para o tratamento com 200 mg dm^{-3} de K_2O + 400 mg dm^{-3} de N aos 15 DAI, já no período final, verificou-se variação entre $0,22 \text{ dS m}^{-1}$ para parcela controle a $1,71 \text{ dS m}^{-1}$ para o tratamento 200 mg dm^{-3} de K_2O + 400 mg dm^{-3} de N aos 90 DAI. De acordo com Bresler *et al.* (1982), os valores de CE encontrados não ocasionam problemas de fitotoxicidade para a maioria das culturas ($< 2 \text{ dS m}^{-1}$).

No entanto, de acordo com Silva *et al.* (2002), para a cultura da bananeira “Prata-Anã” no Norte de Minas Gerais, os valores médios encontrados aos 90 DAI para os tratamentos com 100, 200 e 400 mg dm^{-3} de K_2O em ambas as doses de N e 50 mg dm^{-3} de K_2O + 400 mg dm^{-3} de N (Tabela 2) estão acima da faixa de tolerância estabelecida, cujos valores variam de $0,3-1,0 \text{ dS m}^{-1}$, ocorrendo comprometimento da produção acima desse valor (produção $< 25 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

TABELA 2. Condutividade elétrica da solução do solo (CE em dS m⁻¹) em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), aos 15, 30, 45, 60 e 90 dias após a incubação do solo com os tratamentos (DAI). Janaúba/MG, 2016

DAI	CTL ¹	N ²	K ₂ O (mg dm ⁻³)					Equação	Regressão		Interação	
			0	50	100	200	400		R ²	CV%	F	CV%
15	0,12	200	**0,32b	**0,44b	**0,67b	**0,67b	**0,52b	$\hat{Y} = 0,323 + 0,00344x - 0,00000739x^2$	0,89***	9,41	7,9***	4,7
		400	**0,47a	**0,61a	**0,78a	**0,84a	**0,79a	$\hat{Y} = 0,48 + 0,00314x - 0,0000059x^2$	0,92***	6,09		
30	0,16	200	**0,47b	**0,51b	**0,53 ^a	**0,56b	**0,67b	$\hat{Y} = 0,4755 + 0,000497x$	0,72***	8,16	2,3 ^{ns}	6,4
		400	**0,60a	**0,64a	**0,62 ^a	**0,66a	**0,86a	$\hat{Y} = 0,579 + 0,0006x$	0,88***	4,97		
45	0,25	200	**0,47b	**0,55b	**0,60 ^a	**0,62b	**0,69b	$\hat{Y} = 0,5156 + 0,0005x$	0,82***	3,92	18,2***	3,1
		400	**0,56a	**0,75a	**0,77 ^a	**0,77a	**0,95a	$\hat{Y} = 0,6389 + 0,0008x$	0,80***	8,04		
60	0,23	200	**0,55b	**0,56b	**0,55b	**0,64b	**0,72b	$\hat{Y} = 0,532 + 0,0005x$	0,80***	5,93	5,7***	3,9
		400	**0,77a	**0,77a	**0,72 ^a	**0,75a	**0,85a	$\hat{Y} = 0,769 - 0,000459x + 0,00000168x^2$	0,81***	2,93		
90	0,22	200	**0,66b	**0,98b	**1,31 ^a	**1,75a	**1,25a	$\hat{Y} = 0,6157 + 0,0092x - 0,000019x^2$	0,92***	9,53	5,7***	8,2
		400	**0,93a	**1,21a	**1,38 ^a	**1,71a	**1,12b	$\hat{Y} = 0,906 + 0,007x - 0,0000162x^2$	0,90***	7,51		

¹Parcela adicional – controle. ²N em mg dm⁻³.

Valores seguidos por letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

***Significativo a 1% de probabilidade. ** Significativo a 5% de probabilidade. ns: não significativo.

Valores antecidos por * e **: significativos a 5 % e 1% respectivamente pelo teste de Dunnett, na comparação da parcela controle com os tratamentos dentro de cada tempo de avaliação.

A diferença significativa entre os tratamentos em função do aumento das doses de K_2O associadas às doses de N na CE (Figura 1) evidencia o efeito salino do KCl e $(NH_4)_2SO_4$ devido principalmente a elevação da concentração dos íons Cl^- e SO_4^{2-} na solução do solo. Isso se deve ao fato de os fertilizantes minerais potássicos e nitrogenados serem sais altamente solúveis, e entre eles, o KCl e o $(NH_4)_2SO_4$ apresentam altos índices de salinidade, 116 e 69, respectivamente, quando comparado ao nitrato de sódio que tem valor de referência igual a 100 (MALAVOLTA, 2006). Com isso, elevam a concentração da solução do solo das regiões fertilizadas (MARSCHNER, 1997; SILVA, 2015).

Em relação ao desdobramento das interações K x N, a análise de variância indicou que a condutividade elétrica do solo foi influenciada pelas doses de K_2O ($p < 0,05$), conforme os modelos das equações apresentados (Tabela 2 e Figura 1), no qual a CE do solo é proporcional ao incremento na concentração de íons ao longo do tempo. Como citado inicialmente, a dose de 400 mg dm^{-3} de N de modo geral, foi a que apresentou os maiores valores de CE.

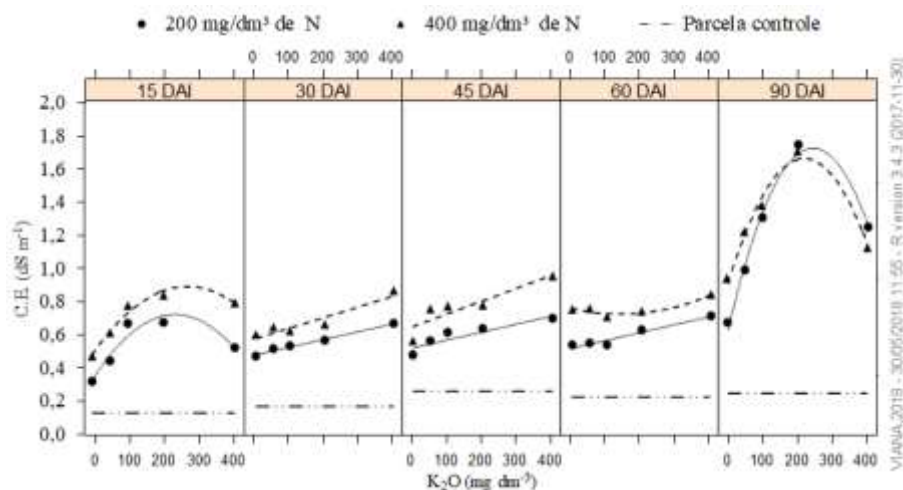


FIGURA 1. Condutividade elétrica da solução do solo (CE) em função da aplicação de doses de potássio (K_2O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio $(NH_4)_2SO_4$, aos 15, 30, 45, 60 e 90 dias após a incubação do solo com os tratamentos (DAI). Janaúba/MG, 2016.

Esse efeito tem sido observado em diversos estudos, em áreas onde ocorre o uso demasiado de fertilizantes com alto índice salino, sobretudo àqueles aplicados via água de irrigação, principalmente em regiões semiáridas, devido a irregularidade das chuvas e a contínua evaporação da água do solo (SILVA *et al.*, 2001a; SANGOI *et al.*, 2009; MARQUES *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2013).

É possível inferir que o aumento da CE da solução do solo aos 90 DAI está relacionado ao maior consumo de nutrientes pelos microrganismos no início do período experimental, em função do aumento imediato da população microbiana e da maior atividade destes no solo. Com o passar do tempo, o excesso de sais pode causar toxidez à população de microrganismos o que possivelmente ocasionou a morte e a hidrólise de seus tecidos, liberando novamente grande parte dos nutrientes aplicados e outros elementos químicos para a solução do solo. Uma análise posterior com os resultados de respirometria poderá confirmar ou não a hipótese aqui levantada.

Os efeitos quadráticos de regressão, observados aos 15 e 90 DAI em relação à CE para os períodos avaliados, revela que até a dose de 200 mg dm⁻³ de K₂O o consumo de íons da solução do solo por parte dos microrganismos foi inferior, havendo aumento substancial a partir desta dose com queda na CE e conseqüentemente na disponibilidade de íons (Figura 1).

Santos *et al.* (2014) estudaram áreas de bananais degradados, os quais receberam a aplicação de biofertilizante de esterco bovino com farinha de osso e melaço, verificaram que a elevada condutividade elétrica (CE) do biofertilizante puro (3,0 dS m⁻¹) e da água de irrigação (1,7 dS m⁻¹), ocasionou o aumento significativo da CE nas áreas estudadas (1,0 dS m⁻¹) em relação a área controle (0,6 dS m⁻¹). Enquanto Lédo (2010), ao avaliar sistemas de irrigação no cultivo de dois genótipos de banana em um solo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico na região de Guanambi/BA, encontrou diferenças significativas para condutividade elétrica em função da

irrigação utilizada, mensurando valores de CE entre 1,77 e 3,86 dS m⁻¹ para gotejamento e microaspersão, respectivamente.

Silva *et al.* (2001b) ao avaliar os efeitos da aplicação da ureia (133 e 399 mg dm⁻³ de N) e do cloreto de potássio (55 e 166 mg dm⁻³ de K₂O) nas características químicas de um Latossolo vermelho distrófico, encontraram CE variando entre 1,2 dS m⁻¹ (para o tratamento 133 mg dm⁻³ de N + 166 mg dm⁻³ de K₂O na profundidade de 20-40) a 0,5 dS m⁻¹ (para os tratamentos sem aplicação de K e N, na profundidade de 0-20 cm).

A Tabela 3 mostra os teores médios de N-NH₄⁺ disponíveis na solução do solo. Houve interação significativa (p<0,05) entre as doses de K x N em todas as épocas avaliadas. É importante destacar a importância da interação entre estes dois nutrientes (K x N), os quais são absorvidos em maiores concentrações pelas plantas e pelos microrganismos quando comparados aos demais nutrientes. De acordo com estudos realizados por Bull (1993), Cantarella (1993) e Wilkinson *et al.* (1999), a interação entre eles é do tipo não competitiva, sendo que a absorção de um elemento eleva a demanda do outro e melhora a eficiência de utilização de ambos.

Em relação aos desdobramentos das interações K x N para o teor líquido de N-NH₄⁺, houve influência significativa das doses de K₂O aplicadas na forma de KCl, conforme modelos das equações quadráticas apresentados na Tabela 3. Com o aumento da dose a partir de 200 mg dm⁻³ de K₂O houve queda na produção de amônio líquido do solo (amionificação). Esses resultados reforçam os encontrados para CE, em que a partir da dose de 200 mg dm⁻³ de K₂O houve queda da concentração eletrolítica da solução do solo (Figura 1).

Ao compararmos os tratamentos aplicados com a parcela controle (Tabela 3) pelo teste de Dunnett (p<0,05), com exceção do tratamento com 0 mg dm⁻³ K₂O + 200 mg dm⁻³ N aos 15, 30, 45 e 60 DAI, todos os tratamentos diferiram da parcela controle, ou seja, houve aumento no teor de N-NH₄⁺ no solo com a aplicação de N e K.

TABELA 3. Teores de N-amônio no solo (N-NH₄⁺ em mg dm⁻³) em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), aos 15, 30, 45, 60 e 90 dias após a incubação do solo com os tratamentos (DAI). Janaúba/MG, 2016

DAI	CTL ¹	N ²	K ₂ O (mg dm ⁻³)					Equação	Regressão		Interação	
			0	50	100	200	400		R ²	CV%	F	CV%
15	69,4	200	^{ns} 144,1b	**694,1b	**1537,5b	**1858,1b	**1284,1b	$\hat{Y} = 132,86 + 15,27x - 0,031x^2$	0,94***	13,89	9,8***	7,0
		400	**843,8a	**1558,8a	**1902,2a	**2608,9a	**2247,6a	$\hat{Y} = 862,95 + 13,73x - 0,025x^2$	0,97***	5,95		
30	63,5	200	^{ns} 56,8b	**266,3b	**535,3b	**613,3b	**246,7b	$\hat{Y} = 58,64 + 5,40x + 0,0123x^2$	0,92***	18,39	40,7***	8,0
		400	**635,9a	**825,6a	**1158,3a	**1603,2a	**1373,3a	$\hat{Y} = 564,58 + 7,67x - 0,014x^2$	0,95***	7,87		
45	28,6	200	^{ns} 41,0b	**81,7b	**98,1b	**173,8b	^{ns} 49,0b	$\hat{Y} = 31,07 + 1,19x - 0,0028x^2$	0,86***	21,48	52,3***	10,1
		400	**238,0a	**365,9a	**446,1a	**530,0a	**140,0a	$\hat{Y} = 232,5 + 3,099x - 0,00831x^2$	0,96***	8,17		
60	67,1	200	^{ns} 81,5a	**142,7b	**172,7b	**194,4b	**131,3b	$\hat{Y} = 88,59 + 1,029x - 0,0023x^2$	0,92***	8,25	37,3***	7,9
		400	**93,5a	**207,1a	**253,1a	**369,8a	**168,3a	$\hat{Y} = 89,86 + 2,44x - 0,0056x^2$	0,95***	10,20		
90	21,6	200	**184,9a	**207,2a	**251,1a	**227,7a	**165,5a	$\hat{Y} = 188,45 + 0,58x - 0,0016x^2$	0,76***	8,19	22,6***	5,9
		400	**175,9b	**160,5b	**163,7b	**138,9b	**142,1a	$\hat{Y} = 176,12 - 0,244x + 0,00039x^2$	0,68**	6,20		
ACM ³	250,1	200	**508,3b	**1392,0b	**2594,9b	**3068,0b	**1876,6b	$\hat{Y} = 499,64 + 23,47x - 0,05x^2$	0,96***	10,19	20,4***	4,5
		400	**1987,1a	**3117,8a	**3919,4a	**5250,8a	**4071,3a	$\hat{Y} = 1926,01 + 26,7x - 0,053x^2$	0,98***	4,14		

¹Parcela adicional – controle. ²N em mg dm⁻³. ³Acumulado.

Valores seguidos por letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

***Significativo a 1% de probabilidade. ** Significativo a 5% de probabilidade. ns: não significativo.

Valores antecidos por * e **: significativos a 5 % e 1% respectivamente pelo teste de Dunnett, na comparação da parcela controle com os tratamentos dentro de cada tempo de avaliação.

Ao avaliar as doses de N (200 e 400 mg dm⁻³) dentro de uma mesma dose de K₂O já era esperado que com aumento da dose de N na forma amoniacal haveria maior teor deste nutriente disponível na solução do solo. Esse resultado foi constatado até 60 DAI, no entanto, aos 90 DAI a menor dose de N (200 mg dm⁻³) promoveu maior disponibilidade de N-NH₄⁺ no solo (Tabela 3 e Figura 2).

De acordo com Yamada (2002), elevados teores de NH₄⁺ na solução do solo e a sua absorção pelas plantas e microrganismos, promove vários desarranjos à integridade das células, levando a sua toxidez com o passar do tempo.

Apesar da queda nos teores de NH₄⁺ (Figura 2) com o passar do tempo, pode-se afirmar que, inicialmente, houve inibição do processo de nitrificação, considerando que em solos aerados o NH₄⁺ disponível passa para a forma de NO₂⁻ e, posteriormente NO₃⁻ dentro de um curto espaço de tempo (VIEIRA-MEGDA *et al.*, 2014). O incremento das doses de K₂O pode ter ocasionado baixa nitrificação, devido a menor atividade microbiana das bactérias *Nitrosomonas*, *Nitrospira*, *Nitrosococcus*, conhecidas como bactérias oxidantes de amônio no solo (COSTA e CAMPOS, 2015), devido ao excesso da concentração de Cl⁻ na solução.

Em pesquisa realizada por McGuire *et al.* (1999), ficou comprovado que o íon clorito (ClO₂⁻), em apenas algumas horas e, mesmo em concentrações muito baixas no solo (0,05 mg L⁻¹), pode inativar a capacidade das bactérias de oxidar amônio. Segundo Drew e Brocklehurst (1984) e Gray (1994), a ação tóxica dos compostos clorados está relacionada à formação de ácido hipocloroso (HClO), considerado um forte agente oxidante, danificando pontos ativos de certos grupos orgânicos essenciais a respiração celular. Além disso, ao reagir com a amônia, o cloro pode formar compostos denominados cloraminas, que possuem ação biocida.

Esses resultados corroboram os encontrados por Vieira-Megda *et al.* (2014), ao avaliarem o potencial de inibição do Cl⁻ no processo de nitrificação quando aplicado ao solo na forma de cloreto de amônio

combinado ou não ao cloreto de potássio. Os autores constataram que o aumento da dose de cloreto de amônio no solo foi acompanhado por redução significativa na concentração de N-NO_3^- , sugerindo efeito nocivo na atividade de microrganismos nitrificantes devido ao elevado potencial osmótico na solução do solo.

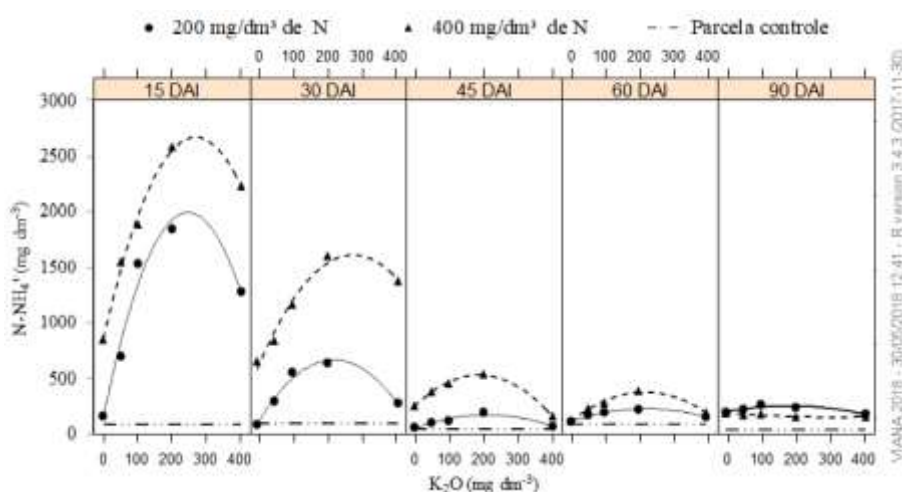


FIGURA 2. Teor de N-Amônio no solo (N-NH_4^+) em função da aplicação de doses de potássio (K_2O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), aos 15, 30, 45, 60 e 90 dias após a incubação do solo com os tratamentos (DAI). Janaúba/MG, 2016.

Pereira *et al.* (2017a), ao avaliarem o efeito de doses de cloreto de potássio associado a aplicação de resíduo de bananeira aos 45 e 130 dias, no processo de amonificação do solo, constataram que o aumento das doses de KCl promoveu redução significativa no teor líquido de amônio do solo a partir da dose de 100 mg dm^{-3} de K_2O em ambos os períodos avaliados, no qual a maior dose de resíduo (400 mg/parcela) proporcionou menor teor de N-NH_4^+ disponível na solução do solo.

A Figura 2, demonstra que até os 30 DAI os teores de N-NH_4^+ ainda permaneciam elevados no solo, notando uma redução considerável a partir desse período, sendo a dose de 200 mg dm^{-3} de K_2O + 400 mg dm^{-3} de N aos 15, 30, 45 e 60 DAI que, em geral, apresentou maiores teores de N-NH_4^+ . Assim, as elevadas doses de KCl pode manter o N-NH_4^+ no solo, indicando

um retardamento do processo de nitrificação, quando comparadas com a parcela controle (Tabela 3). É possível constatar para uma mesma dose de N, considerando a menor e maior dose de K₂O, que o teor de N-NH₄⁺ foi muito mais elevado na maior dose de potássio. Esses resultados estão de acordo com observações de experimentos realizados por Mello Jr. *et al.* (1994), Coelho (1995) e Vieira (2009).

Além disso, a umidade do solo corrigida para 70% da CMRA confere condições adequadas para a reação do NH₄⁺ com o O₂ presente no solo. Vieira-Megda (2013), utilizando o método da técnica isotópica (¹⁵N), avaliou a nitrificação do N no solo aplicado na forma de ureia (nas mesmas condições do presente trabalho e com mesmo tipo de solo). Os resultados mostraram que após 7 dias de incubação todo o N-amídico já havia sido nitrificado para a forma de NO₃⁻.

Ao avaliar o teor de N-NH₄⁺ acumulado na solução do solo aos 90 DAI (Figura 3), observa-se de acordo com o modelo de regressão quadrática encontrada (Tabela 3), que o ponto de máxima foi de 234 mg dm⁻³ de K₂O para a dose de 200 mg dm⁻³ de N (3.194,5 mg dm⁻³ de N-NH₄⁺ acumulado), enquanto que para a dose de 400 mg dm⁻³ de N o ponto de máxima foi de 250,8 mg dm⁻³ de K₂O (5.265,48 mg dm⁻³ de N-NH₄⁺ acumulado), apresentando decréscimo nos teores de N-NH₄⁺ acumulado a partir destas doses e, conseqüentemente efeito deletério nos processos de mineralização e nitrificação do nitrogênio.

A atividade e a diversidade microbiana são consideradas potenciais indicadores de degradação do solo, bem como da sua recuperação (NANNIPIERI *et al.*, 2003; RACHID *et al.*, 2012; HABTESELASSIE *et al.*, 2013). Desse modo, grupos microbianos fixadores de nitrogênio e amônio-oxidantes desempenham papéis fundamentais na ciclagem do nitrogênio em solos agricultáveis. O estudo dessas inter-relações é muito importante, uma vez que a nitrificação, acoplada com o processo de nitratação, constituem as maiores fontes de perda de N no solo pelo processo de nitrificação (HAANDEL e MARAIS, 1999).

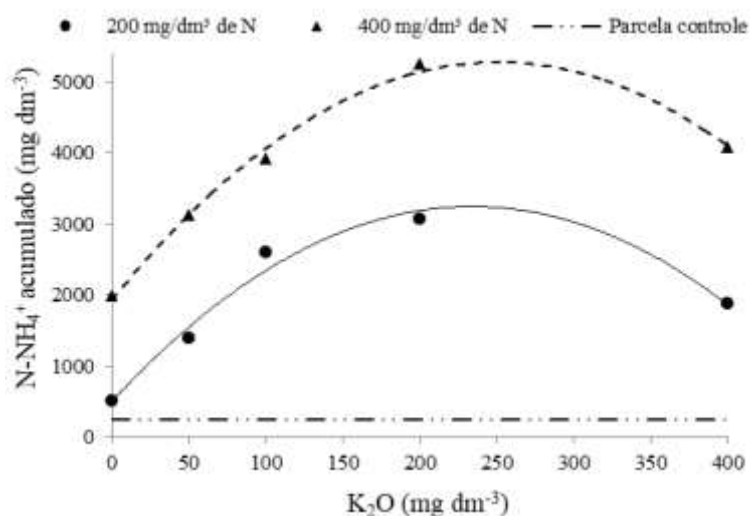


FIGURA 3. Teor de N-Amônio (N-NH₄⁺) acumulado no solo em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), aos 90 dias após a incubação do solo com os tratamentos (DAI). Janaúba/MG, 2016.

Foi constatada interação significativa ($p < 0,05$) entre doses de K e N para os valores médios de Cl⁻ na solução do solo em todas as épocas avaliadas (Tabela 4). De modo geral, os tratamentos submetidos a 400 mg dm⁻³ de N foram os que proporcionaram os maiores teores disponíveis do Cl⁻ na solução do solo independente da dose de K₂O aplicada.

De forma geral, a partir dos 30 dias de incubação, observou-se que para a maior dose de N foi constatado maior teor de Cl⁻ disponível no solo, o que é reforçado quando se observa os teores acumulados ao longo do período de 90 dias (Tabela 4 e Figura 4 e 5). A maior concentração de Cl⁻ no solo para o tratamento com maior dose de N pode estar relacionado a competição específica por sítios de adsorção entre o Cl⁻ e NO₃⁻ (proveniente do processo de nitrificação de parte do amônio adicionado).

TABELA 4. Teores de cloreto no solo (Cl^- em mg dm^{-3}) em função da aplicação de doses de potássio (K_2O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), aos 15, 30, 45, 60 e 90 dias após a incubação do solo com os tratamentos (DAI). Janaúba/MG, 2016

DAI	CTL ¹	N ²	K ₂ O (mg dm ⁻³)					Equação	Regressão		Interação	
			0	50	100	200	400		R ²	CV%	F	CV%
15	9,4	200	**42,7a	**40,9a	**41,5a	**40,2a	**52,2b	$\hat{Y} = 42,94 - 0,0429x + 0,00164x^2$	0,83***	4,95	27,7***	6,9
		400	**45,5a	**43,6a	**34,9b	**38,3a	**76,3a	$\hat{Y} = 46,85 - 0,158x + 0,0058x^2$	0,94***	8,65		
30	8,4	200	ns6,8b	ns12,8b	**16,1a	**26,0b	**42,7a	$\hat{Y} = 7,5496 + 0,0889x$	0,97***	11,23	24,9***	13,9
		400	ns9,1a	**16,7a	**16,9a	**33,9a	**24,6b	$\hat{Y} = 7,6345 + 0,1817x - 0,00034x^2$	0,87***	22,08		
45	8,3	200	*14,6b	**26,3b	**53,3a	**50,3b	**53,3b	$\hat{Y} = 16,05 + 0,3174x - 0,00056x^2$	0,83***	18,29	53,7***	6,3
		400	**27,6a	**54,4a	**47,1a	**83,8a	**81,7a	$\hat{Y} = 28,846 + 0,362x - 0,00057x^2$	0,87***	14,20		
60	7,8	200	ns13,5b	**25,9b	**36,8b	**67,4b	**41,3b	$\hat{Y} = 9,099 + 0,4356x - 0,00088x^2$	0,91***	15,42	33,7***	8,3
		400	**41,6a	**72,2a	**86,1a	**118,8a	**128,9a	$\hat{Y} = 43,21 + 0,5383x - 0,0008x^2$	0,95***	8,00		
90	4,1	200	ns13,5b	**29,5b	**70,2b	**74,1b	**73,9a	$\hat{Y} = 13,41 + 0,5263x - 0,0009x^2$	0,89***	17,67	136,8***	7,0
		400	**87,5a	**140,7a	**182,9a	**180,4a	**61,8b	$\hat{Y} = 93,31 + 1,0558x - 0,002847x^2$	0,95**	8,63		
ACM ³	36,3	200	**91,1b	**135,4b	**217,9b	**258,1b	**263,4b	$\hat{Y} = 88,578 + 1,335x - 0,00225x^2$	0,96***	7,06	59,2***	2,7
		400	**211,3a	**327,6a	**367,9a	**455,3a	**373,4a	$\hat{Y} = 219,86 + 1,979x - 0,00399x^2$	0,97***	3,78		

¹Parcela adicional – controle. ²N em mg dm^{-3} . ³Acumulado

Valores seguidos por letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

***Significativo a 1% de probabilidade. ** Significativo a 5% de probabilidade. ns: não significativo.

Valores antecidos por * e **: significativos a 5 % e 1%, respectivamente pelo teste de Dunnett, na comparação da parcela controle com os tratamentos dentro de cada tempo de avaliação.

Na Tabela 4, observa-se que o teor do Cl^- na solução do solo variou aos 15 DAI entre $16,1 \text{ mg dm}^{-3}$ para o tratamento controle e $34,9 \text{ mg dm}^{-3}$ para o tratamento 100 mg dm^{-3} de $\text{K}_2\text{O} + 400 \text{ mg dm}^{-3}$ de N; e aos 90 DAI variou entre $4,1 \text{ mg dm}^{-3}$ para o tratamento controle e $182,9 \text{ mg dm}^{-3}$ para o tratamento 100 mg dm^{-3} de $\text{K}_2\text{O} + 400 \text{ mg dm}^{-3}$ de N, ficando evidente, um incremento nos teores de Cl^- ao final do período de avaliação (Figura 4).

Aos 15 DAI, considerando os tratamentos com aplicação de K_2O , o teor médio de Cl^- foi de 46 mg dm^{-3} . Se considerarmos a dose de 100 mg dm^{-3} de K_2O aplicado na forma de KCl , concluímos que foi adicionado ao solo cerca de 80 mg de Cl^- , assim houve considerável imobilização/consumo por parte dos microrganismos do solo no período inicial para os tratamentos com aplicação de dose superior a 100 mg dm^{-3} de K_2O e produção/liberação para os tratamentos com dose “0” de cloreto de potássio, o que pode ser reforçado também pelo teor observado no controle (somente solo).

Foi possível verificar que o aumento da concentração de Cl^- (Figura 5) foi diretamente proporcional ao aumento da CE (Figura 1) na solução do solo e, ambos inversamente proporcionais ao teor líquido de N-NH_4^+ (Figura 2) na solução do solo em função do tempo, com queda nos teores de N-NH_4^+ a partir das doses de 100 e 200 mg dm^{-3} de K_2O aos 90 DAI.

Aos 30 DAI observou-se decréscimo nos teores médios de Cl^- nos tratamentos aplicados, havendo, de forma geral, um crescimento progressivo aos 45, 60 e 90 DAI (Tabela 4). Destaque para o último período avaliado (90 DAI), em que um incremento de mais de 400% nos teores médios de Cl^- para as doses de 100 e 200 mg dm^{-3} de $\text{K}_2\text{O} + 400 \text{ mg dm}^{-3}$ de N aos 90 DAI foi observado, quando comparados aos valores encontrados aos 15 DAI.

A queda nos teores iniciais de Cl^- no solo aos 30 DAI possivelmente aconteceu em função da elevada absorção inicial pela microbiota do solo, tendo em vista que o Latossolo utilizado no presente estudo tem baixa CTC (Tabela 1), portanto, pouca afinidade em reter ânions como o cloreto, além da competição do Cl^- com o NO_3^- discutida anteriormente. Posteriormente, a tendência é que com o agravamento da salinidade do solo e a morte de parte

dos microrganismos ocorra a lise dos tecidos microbianos e consequente liberação para a solução do solo.

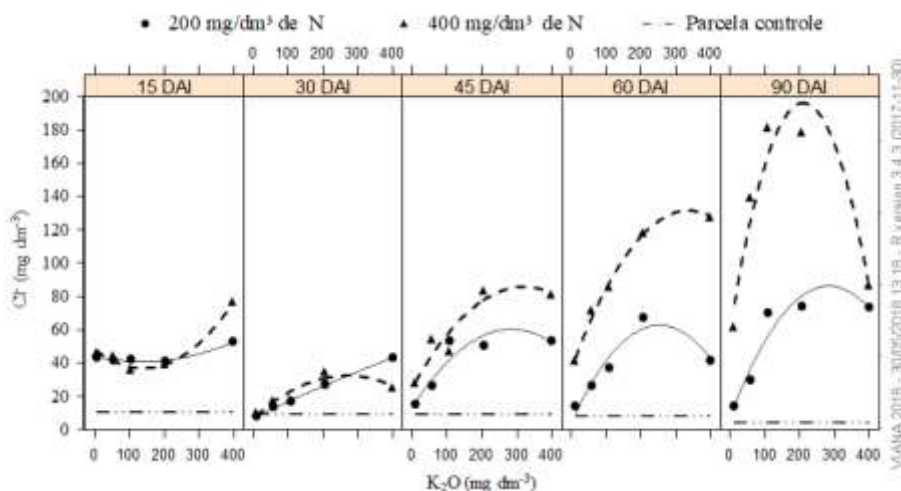


FIGURA 4. Teor de Cloreto (Cl⁻) no solo em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), aos 15, 30, 45, 60 e 90 dias após a incubação do solo com os tratamentos (DAI). Janaúba/MG, 2016.

Em relação aos desdobramentos das interações K x N, a análise de variância indicou que o teor de cloreto na solução do solo foi influenciada de forma significativa pelo aumento das doses de K₂O aplicadas na forma de KCl (p<0,05), conforme modelos de equações apresentados na Tabela 4.

Por meio do teste de Dunnett (p<0,05) e considerando os valores de Cl⁻ encontrados para o controle, fica evidente que a aplicação de potássio associada à adubação nitrogenada aumentou significativamente o teor de cloreto no solo. Os valores iniciais (15 DAI) variaram de 9,4 mg dm⁻³ para o controle a 76,3mg dm⁻³ para o tratamento 400 mg de K₂O + 400 mg de N (Tabela 4).

Os resultados encontrados demonstram que o acúmulo de Cl⁻ ao longo do tempo decorrente da aplicação de elevadas doses de KCl no solo, pode acarretar distúrbios na microbiota do solo e consequentemente, afetar os processos químicos e biológicos do solo. Vieira-Megda *et al.* (2014), avaliando o potencial biocida do Cl⁻ adicionado ao solo na forma de cloreto

de amônio, concluíram que a aplicação de elevadas doses deste fertilizante, combinado ao KCl, tem efeito deletério na produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) e na atividade dos microrganismos, estimada por meio do C-microbiano.

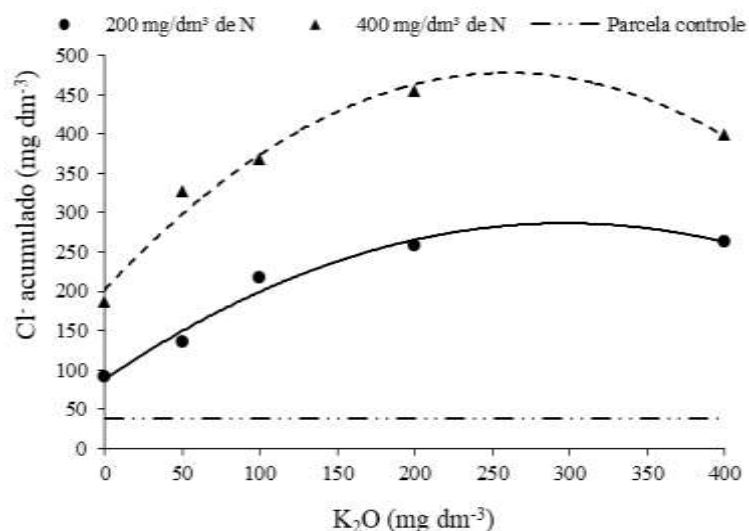


FIGURA 5. Teor de cloreto (Cl⁻) acumulado no solo em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), aos 90 dias após a incubação do solo com os tratamentos (DAI). Janaúba/MG, 2016.

De acordo Silva *et al.* (2001b), o uso de fertilizantes deve ser criterioso, principalmente em relação ao potássio, aplicado como KCl, porque pode resultar em alta concentração de sais em solução, além de elevar a saturação do K⁺ no complexo coloidal do solo, causando desequilíbrio iônico.

A interação K x N foi significativa para o teor de carbono mineralizável, quantificado por meio do C-CO₂ respirado pela biomassa microbiana do solo aos 45 e 90 DAI (Tabela 5). Por meio da Figura 6 pode-se observar aumento na atividade microbiana do solo com o passar do tempo. O teor de C-CO₂ variou de 14,1 mg/100 cm³ no controle a 26,7 mg/100 cm³ para o tratamento 200 mg dm⁻³ de K₂O + 400 mg dm⁻³ de N aos 30 DAI; após 90 de incubação, para esse mesmo tratamento, verificou-se

variação de 49,9 mg/100 cm³ no controle para 45,4 mg/100 cm³, constatando aumento na atividade microbiana ao longo do período avaliado.

Com relação aos desdobramentos das interações K x N, a análise de variância indicou que o C-CO₂ do solo foi influenciado de forma significativa pelo aumento das doses de K₂O (p<0,05) em todas as épocas avaliadas, conforme modelos das equações apresentadas na Tabela 5. De forma geral, o aumento da concentração eletrolítica da solução do solo após a adição de KCl e (NH₄)₂SO₄ proporcionou redução na atividade microbiana do solo (Figura 5).

Visando melhor esclarecer a influência da aplicação de K e/ou N na atividade microbiana julgou-se necessária uma análise conjunta dos resultados de C-CO₂ total (acumulado) liberado após 90 dias de incubação pela biomassa microbiana do solo. Esse resultado fica mais evidente quando analisamos a Figura 7, no qual a parcela controle e o tratamento com 0 mg dm⁻³ de K₂O + 50 mg dm⁻³ de N, de modo geral, foram os que apresentaram maior atividade microbiana estimada pelo C-CO₂ acumulado. Também é possível verificar o aumento progressivo da atividade microbiana com o passar do tempo para todos os tratamentos (Figura 7). Segundo Vieira-Megda (2013), os microrganismos possuem ampla capacidade de se adaptarem as condições do meio, tornando-se resistente a determinada condição que inicialmente exercia efeito negativo.

TABELA 5. Carbono mineralizável (C-CO₂ em mg 100 cm⁻³ de solo) liberado pela respiração microbiana do solo aos 30, 45, 60 e 90 dias após a incubação com os tratamentos (DAI) e Taxa respiratória (TR, em mg g⁻¹ de solo dia⁻¹) aos 90 DAI, em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄). Janaúba/MG, 2016

DAI	CTL ¹	N ²	K ₂ O (mg dm ⁻³)					Equação	Regressão		Interação	
			0	50	100	200	400		R ²	CV%	F	CV%
30	14,1	200	^{ns} 17,5a	^{**} 19,2a	^{**} 23,8a	^{**} 24,3a	^{**} 23,7a	$\hat{Y} = 17,467 + 0,0599x - 0,000112x^2$	0,57 ^{***}	11,33	0,3 ^{ns}	11,1
		400	^{ns} 18,1a	^{**} 21,9a	^{**} 24,6a	^{**} 26,7a	^{**} 24,9a	$\hat{Y} = 18,432 + 0,071x - 0,000138x^2$	0,63 ^{***}	10,56		
45	43,7	200	^{**} 52,0a	^{ns} 38,6a	^{**} 36,3a	^{**} 24,5a	^{**} 26,3a	$\hat{Y} = 50,764 - 0,1996x + 0,000347x^2$	0,91 ^{***}	9,20	4,6 ^{***}	9,2
		400	^{ns} 44,1b	^{ns} 40,6a	^{**} 35,6a	^{**} 28,2a	^{**} 21,1b	$\hat{Y} = 44,64 - 0,1012x + 0,0001x^2$	0,87 ^{**}	9,88		
60	47,6	200	^{ns} 48,1a	[*] 42,4a	[*] 42,1a	^{**} 39,9a	^{ns} 44,0a	$\hat{Y} = 47,206 - 0,0698x + 0,000156x^2$	0,56 ^{***}	5,74	1,3 ^{ns}	5,3
		400	^{ns} 45,0a	[*] 42,1a	[*] 41,5a	^{**} 36,9a	^{ns} 45,1a	$\hat{Y} = 45,54 - 0,0738x + 0,000181x^2$	0,66 ^{***}	5,25		
90	49,9	200	^{ns} 52,7a	^{ns} 49,1a	^{ns} 47,9a	^{**} 43,7a	^{**} 37,9b	$\hat{Y} = 52,364 - 0,0513x$	0,94 ^{***}	2,91	58,8 ^{***}	4,5
		400	^{**} 33,9b	^{**} 37,4b	[*] 45,3a	[*] 45,4a	^{ns} 46,1a	$\hat{Y} = 34,19 + 0,099x - 0,000175x^2$	0,75 ^{***}	6,94		
ACM ³	155,2	200	^{**} 170,4a	^{ns} 149,4a	^{ns} 148,5a	^{**} 132,4a	^{**} 131,5a	$\hat{Y} = 0,00043x^2 - 0,265x + 167,62$	0,60 ^{***}	11,33	15,5 ^{***}	-
		400	^{**} 141,2b	[*] 142,1b	^{ns} 147,1a	^{**} 137,2a	^{**} 137,2a	$\hat{Y} = -0,000026x^2 - 0,0047x + 142,78$	0,65 ^{***}	10,56		
TR	1,7	200	^{**} 1,89a	^{ns} 1,66a	^{ns} 1,65a	^{**} 1,47a	^{**} 1,46a	$\hat{Y} = 1,86 - 0,00295x + 0,0000048x^2$	0,87 ^{***}	3,91	15,1 ^{***}	3,6
		400	^{**} 1,57b	[*] 1,58a	^{ns} 1,63a	^{**} 1,52a	^{**} 1,52a	$\hat{Y} = 1,5923 - 0,0002x$	0,38 ^{ns}	4,34		

¹Parcela adicional – controle. ²N em mg dm⁻³. ³Acumulado.

Valores seguidos por letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

***Significativo a 1% de probabilidade. ** Significativo a 5% de probabilidade. ns: não significativo.

Valores antecidos por * e **: significativos a 5 % e 1%, respectivamente, pelo teste de Dunnett, na comparação da parcela controle com os tratamentos dentro de cada tempo de avaliação.

Por meio do teste de Dunnett ($p < 0,05$) apresentado na tabela 5, constata-se que apenas aos 30 DAI os tratamentos (com adição de K e N) apresentaram atividade microbiana superior ao controle. A partir dos 45 DAI, de forma geral, houve queda na atividade microbiana com a adição de K e N no solo. Por exemplo, aos 30 DAI o controle e o tratamento 200 mg dm^{-3} de $\text{K}_2\text{O} + 400 \text{ mg dm}^{-3}$ N apresentaram atividade microbiana de 14,1 e 26,7 $\text{mg } 100 \text{ cm}^{-3}$ de solo, respectivamente. Aos 90 dias os valores observados foram de 49,9 e 45,4 para o controle e o mesmo tratamento, respectivamente, sendo o controle superior ao tratamento citado.

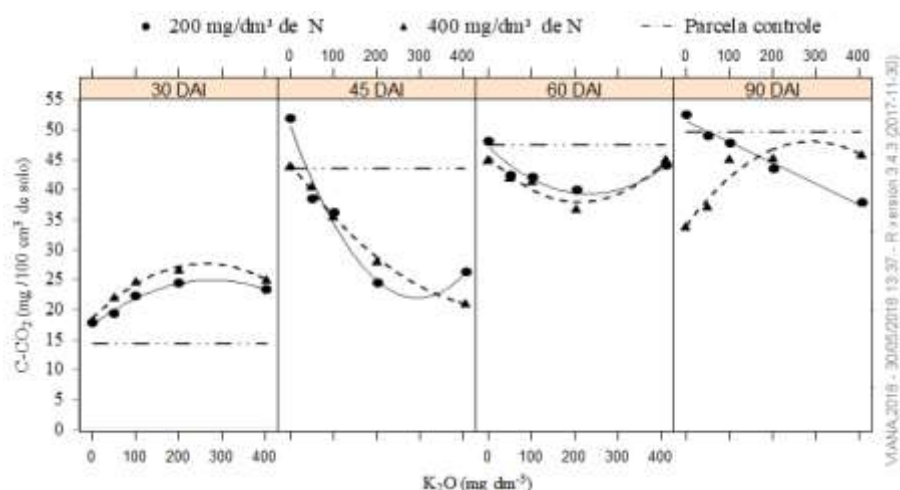


FIGURA 6. Carbono mineralizável do solo (C-CO₂ liberado pela respiração microbiana) em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), aos 30, 45, 60 e 90 dias após a incubação do solo com os tratamentos (DAI). Janaúba/MG, 2016.

Segundo diversos autores, o excesso de íons na solução do solo, especialmente o Cl⁻, pode ser tóxico aos microrganismos devido aos efeitos negativos relacionados ao aumento do potencial osmótico da solução do solo, que induz os mesmos ao estresse hídrico, consequentemente desbalanço nutricional e redução do crescimento, pois atua principalmente sobre os sistemas enzimáticos e de membranas (LAUCHLI e EPSTEIN, 1990; AYERS e WESTCOT, 1991; MUNNS e TESTER, 2008).

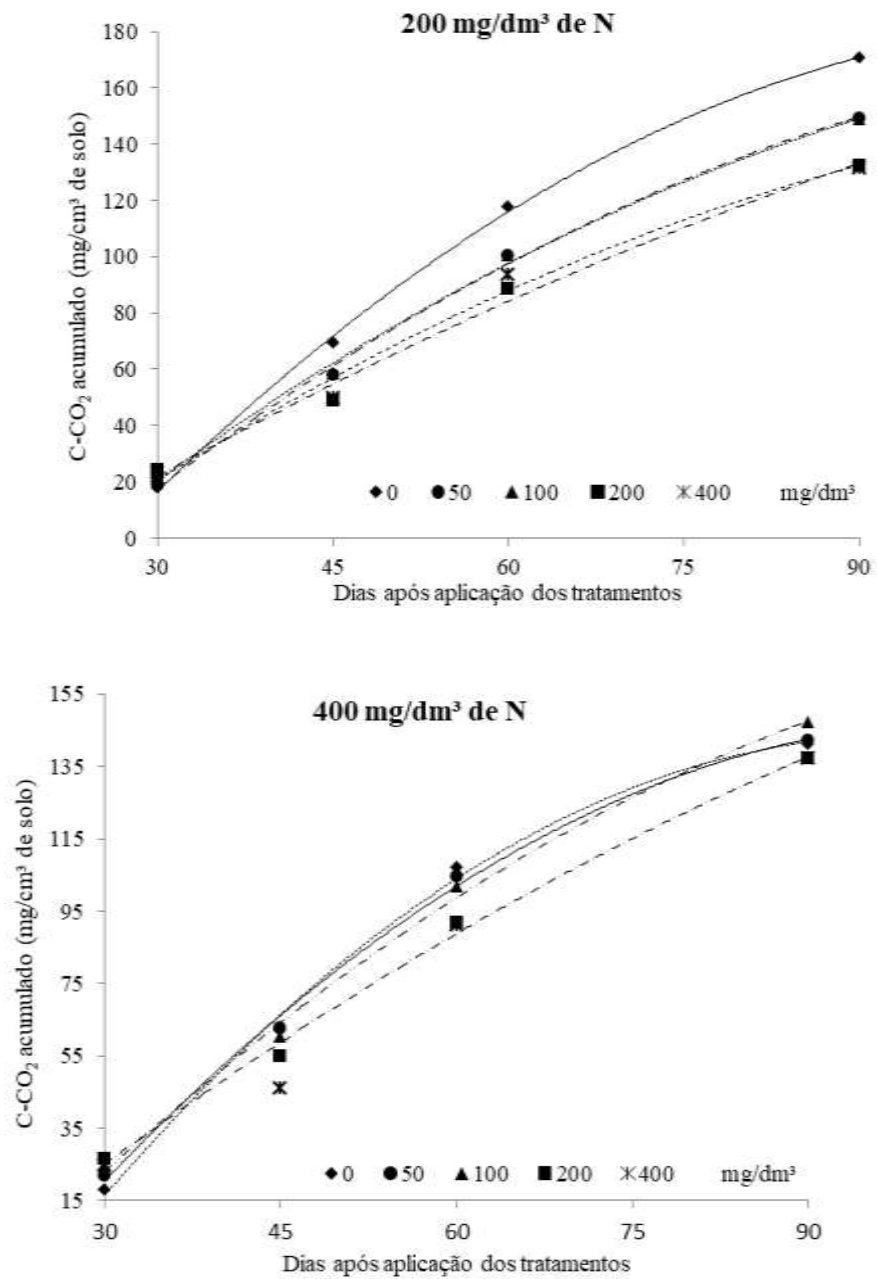


FIGURA 7. C-CO₂ mineralizável acumulado em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄) aos 30, 45, 60 e 90 dias após a incubação do solo com os tratamentos (DAI). Janaúba/MG, 2016.

Resultados semelhantes foram encontrados por Vieira-Megda *et al.* (2014) e Pereira *et al.* (2017b) em condições semelhantes ao do presente estudo. Por outro lado, Tavares (2007) ao avaliar a respirometria basal do solo após o cultivo com plantas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*), submetidas ao aumento da salinidade não observou diferença na atividade microbiana do solo. Da mesma forma, Pereira *et al.* (2004), avaliando a respiração basal do solo irrigado com rejeito salino e cultivado por três anos, não constatarem diferença significativa, em relação à área nativa.

Muitos atributos físicos e químicos do solo (ciclagem de nutrientes, decomposição da matéria orgânica) adequados para o máximo desenvolvimento vegetal, são afetados diretamente pelos processos bióticos (LEE, 1994), destacando-se a importância dos microrganismos e seus processos no funcionamento e equilíbrio dos ecossistemas. Uma vez que no sistema solo, a redução da atividade microbiana pode ser um importante indicador da perda de resiliência e, por consequência, da qualidade do solo. Desse modo, um solo que apresenta alta redundância de funções no ecossistema provavelmente é capaz de manter em equilíbrio os processos ecológicos, mesmo sob distúrbio (PERRY *et al.*, 1989).

Em relação a taxa respiratória (TR), por meio da análise de regressão observou-se queda expressiva para a dose de 200 mg dm⁻³ de N com o aumento das doses de K₂O, variando entre 1,9 mg g⁻¹ solo dia⁻¹ para o tratamento com 0 mg dm⁻³ de K₂O a 1,4 mg g⁻¹ solo dia⁻¹ para a dose de 400 mg dm⁻³ de K₂O (Figura 8). Os valores encontrados para a dose de 400 mg dm⁻³ de N não foram significativos, indicando que não houve aumento da população microbiana, a qual se manteve inalterada com o aumento das doses de K₂O e, de forma geral, abaixo da menor dose de N e do controle.

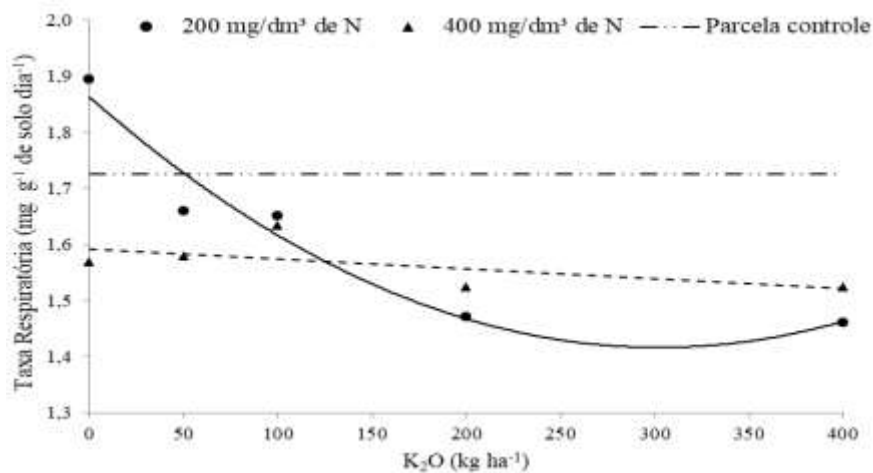


FIGURA 8. Taxa respiratória (TR) dos microrganismos do solo em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), aos 90 dias após a incubação do solo com os tratamentos (DAI). Janaúba/MG, 2016.

Esse resultado confirma o efeito tóxico da aplicação de elevadas doses de N no solo na forma de sulfato de amônio, cujo índice salino é altamente elevado, sendo fortemente agravado quando associado ao KCl. Ao compararmos os tratamentos aplicados com a parcela controle pelo teste de Dunnett ($p < 0,05$), constata-se que, de forma geral, para ambas as doses de N a TR foi superior para o controle (Tabela 5).

4 CONCLUSÕES

A aplicação de 185 mg dm^{-3} de K_2O associada à 400 mg dm^{-3} N, elevou o teor de cloreto e de 242 mg dm^{-3} associada a 200 mg dm^{-3} N a condutividade elétrica da solução do solo ao final do período avaliado.

O aumento das doses de cloreto de potássio e sulfato de amônio promoveu acúmulo do amônio disponível na solução do solo.

A aplicação de doses de potássio, acima de 283 mg dm^{-3} na forma de cloreto de potássio associada à 200 mg dm^{-3} N reduziu a atividade e a taxa respiratória da biomassa microbiana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in applied soil microbiology and biogeochemistry**. London, Academic Press, 1995. 576 p.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W.A. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de Gheyi HR, Medeiros JF, Damasceno FAV. Campina Grande, PB: UFPB. 1991. 218p.
- BARROS, M. F. C.; SANTOS, P. M.; FERRAS, F. B. Qualidade da água de drenagem de solos degradados pela salinização e sodificação depois da aplicação de gesso e calcário e de lâmina de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5. p.363-378, 2008.
- BREMNER, J.M.; SHAW, K. Denitrification in soil: II. Methods of investigation. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 51, p. 22-39, 1958.
- BRESLER, E.; MENIAL, B. L.; CARTER, D. L. DIAGNOSIS AND PROPERTIES. In: BRESLER, E.; MCNEAL, B. L.; CARTE, D. L. **Saline and sodic soils: Principles-dinamics-modeling**. Berlin: Springers-Verlag. p.1-17. 1982.
- BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T. e CANTARELLA, H., eds. **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, POTAFOS. p.63-145. 1993.
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L.T. e CANTARELLA, H., eds. **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, POTAFOS. p.147-196. 1993.
- CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: _____. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico. p.270-276. 2001.
- COELHO, A.M. Efeito de níveis de N-uréia na dinâmica de amônio e nitrato em latossolo cultivado com milho irrigado. In: Congresso Nacional de la Ciencia del Solo. **Anais... VII CONACISU**: Universidad de la Fontera: Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, p 6. 1995.
- COSTA, A. M.; CAMPOS, J. C. Avaliação da toxicidade da salinidade na nitrificação biológica de efluentes utilizando a técnica de respirometria. **Rev. Ambient. Água**. vol. 10. n. 3. 2015.

CURL, E.A.; RODRIGUEZ-KABANA, R. Microbial interactions. In: WILKINSON, R.E. (ed) Research methods in weed science. Atlanta, **Southern Weed Science Society**. p.162-194. 1972.

DANTAS, J. A.; NETO, E. B.; BARRETO, L. P.; SANTOS, M. V. F. Efeito da salinidade sobre o crescimento e composição mineral de seis clones de Pennisetum. **Revista Ciência Agronômica**, v.37, n.1, p.97-101, 2006.

DREW, R.L.K.; BROCKLEHURST, P.A. The effect of sodium hypochlorite on germination of lettuce seed at high temperature. **Journal of Experimental Botany**, Oxford. v.35. p. 975-985. 1984.

EMBRAPA - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro. 1997. 271p.

FERREIRA, P. A. **Manejo de água: Planta em solos salinos**. Viçosa,: UFV, 1998. 93 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture**. Roma: FAO. 2011. 50p.

GRAY, N.F. **Calidad del agua potable**. Zaragoza: Acribia. 1994. 365 p.

HAANDEL, A.C. van; MARAIS, G. **O comportamento do sistema de lodo ativado**. Campina Grande: Epgraf, 1999. 488p.

HABTESELASSIE, M.Y.; XU, L.; NORTON, J.M. Ammonia-oxidizer communities in an agricultural soil treated with contrasting nitrogen sources. **Frontiers in Microbiology**, Lausanne, v.4, n.326, 2013.

INTRASUNGKHA, N.; KELLER, I.; BLACKALL, L. L. Biological nutrient removal efficiency in treatment of saline wastewater. **Wal Sci. Th**. V.39, p. 183-190. 1999.

LAUCHLI, A.; EPSTEIN, E. Plant responses to saline and sodic conditions. In: Tanji, K. K. (ed.) **Agricultural salinity assessment and management**. New York: ASCE,. Manuals and Reports on Engineering Practice. N°, 71.p.113-137. 1990.

LÉDO, A. A. **Atributos químicos do solo, teores foliares de nutrientes e produtividade de bananeiras tipo Prata sob diferentes sistemas de irrigação**. 2010. 59 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG.

LEE, K. E. The functional significance of biodiversity in soil. **In:** World congress of soil science. Acapulco. **Anais...** Acapulco: International Society of Soil Science. p. 168-182. 1994.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARQUES, D.J.; BROETTO, F.; SILVA, E. C. Efeito do estresse mineral induzido por fontes e doses de potássio na produção de raízes em plantas de berinjela (*Solanum melongena* L.). **Revista Caatinga**. v. 23. p. 7-12. 2010.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press. 1997. 889 p.

MCGUIRE, M.J.; LIEU, N.I.; PEARTHREE, M.S. Using chlorite ion to control nitrification. **Journal of the American Water Works Association**. v.91: p.52-61. 1999.

MEDEIROS, J. F.; GHEYI, H. R.; COSTA, A. R. F. C.; TOMAZ, H. V. Q. Manejo do solo-água-planta em áreas afetadas por sais. **IN:** GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (ed.) **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. p. 319-335. 2016.

MELLO JUNIOR, A.V.; COELHO, A.M.; ALBUQUERQUE, P. E. Níveis de água e nitrogênio na movimentação e recuperação do N em latossolo cultivado com trigo. **In:** Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. **Anais...** Petrolina: SBCS: EMBRAPACPATSA, p.275-277. 1994.

MOREIRA, L. C. J.; TEIXEIRA, A. S.; GALVÃO, L. S.; LEÃO, R. A. O.; ROCHA NETO, O. C. Identificação de problemas de salinidade do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto. **IN:** GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (ed.) **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. p. 66-81. 2016.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.651-681, 2008.

NANNIPIERI, P.; ASCHER, J.; CECCHERINI, M.T.; LANDI, L., PIETRAMELLARA, G.; RENELLA, G. Microbial diversity and soil functions. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 54, p. 655- 670, 2003.

PANSWAD, T.; ANAN, C. Specific oxygen, ammonia and nitrate uptake rates of a biological nutrient removal process treating elevated salinity wastewater. **Bioresource Technol** .v.70. p.237-423. 1999.

PEREIRA, D.G.C.; VIEIRA-MEGDA, M .X.; SANTANA, I.A.; VIANA, N.E.P.; SILVA, M.J.G.; MEGDA, M.M. N-amoniaco em solos com resíduo de bananeira em função da aplicação de cloreto de potássio **Anais... IV Simpósio Mineiro de Ciência do Solo, Anais: Solos no espaço e tempo: trajetórias e tendências.** Universidade Federal de Viçosa, 62-64. 2017a.

PEREIRA, D.G.C.; VIEIRA-MEGDA, M .X.; SANTANA, I.A.; VIANA, N.E.P.; SILVA, M.J.G.; MEGDA, M.M. Atividade microbiana do solo em função da adubação potássica associada a doses de resíduos vegetais da bananeira. **Anais... IV Simpósio Mineiro de Ciência do Solo, Anais: Solos no espaço e tempo: trajetórias e tendências.** Universidade Federal de Viçosa, 59-61. 2017b.

PEREIRA, F.H.F.; ESPINULA NETO, D.; SOARES, D.C.; OLIVA, M.A. Trocas gasosas em plantas de tomateiro submetidas a condições salinas. **Horticultura Brasileira.** v.2. 2004.

PERRY, D. A.; AMARANTHUS, M. P.; BORCHERS, J. G.; BORCHERS, S. L.; BRAINERD, R. E. Bootstrapping in Ecosystems. **Bioscience,** Washington. v. 39, n. 4. p. 230-237. 1989.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing,** Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. 2005.

RACHID, C.T.; PICCOLO, M.C.; LEITE, D.C.A.; BALIEIRO, F.C.; COUTINHO, H.L.; VAN ELSAS, J.D.; PEIXOTO, R.S.; ROSADO, A.S. Physical-chemical and microbiological changes in Cerrado Soil under differing sugarcane harvest management systems. **BMC Microbiology.** v.12. n. 170. p. 1-11. 2012.

RAIJ, B. V., ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (eds.), **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais.** Instituto Agrônomo de Campinas. 2001.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba, Agrônômica Ceres/Potafos. 1991. 343 p.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; BIANCHET, P.; VARGAS, V. P. E.; PICOLI, G. J. Efeito de doses de cloreto de potássio sobre a germinação e o crescimento inicial do milho, em solos com texturas contrastantes. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo.** v 8. p. 187-197. 2009.

SANTOS, J. W. G.; HERNANDEZ, F. F. F.; AQUINO, B. F.; SILVA, F. N.; ANJOS, D. C.; FERREIRA, J. T. P. Respostas da bananeira (*Musasp.*), cultivar pacovan em sistemas de manejo com aplicação de fertilizante

mineral e biofertilizante. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 4, p. 142 – 152, 2014.

SAS Institute Inc. Statistical Analysis System user's guide. Version 9.0. Cary, **Statistical Analysis System Institute**. 2002. 513p.

SILVA JÚNIOR, J. M. T.; TAVARES, R. C.; MENDES FILHO, P. F.; GOMES, V. F. F. Efeitos de níveis de salinidade sobre a atividade microbiana de um Argissolo Amarelo incubado com diferentes adubos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 4. p. 378-382. 2009.

SILVA, J.T.A. Solo, adubação e nutrição para bananeira. **Informe Agropecuário**. Cultivo da bananeira. v. 36, n. 288. p.74-83. 2015.

SILVA, A.O.; KLAR, A.E.; SILVA, Ê. F. F.; TANAKA, A.A.; JUNIOR, J. F. S. Relações hídricas em cultivares de beterraba em diferentes níveis de salinidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17. n.11. p.1143-1151. 2013.

SILVA, J.T.A.; BORGES, A.L.; DIAS, M.S.C.; COSTA, E.L.; PRUDÊNCIO, J.M. **Diagnóstico nutricional da bananeira 'Prata Anã' para o Norte de Minas Gerais**. (Boletim Técnico, n.70).Belo Horizonte: Epamig, 2002.16p.

SILVA, M. A. G.; BOARETTO, A. E.; FERNANDES, H. G.; BOARETTO, R.; MELO, A. M. T.; SCIVITTARO, W. B. Características químicas de um latossolo adubado com uréia e cloreto de potássio em ambiente protegido. **Scientia Agricola**.v.58. n.3.p.561-566. 2001b.

SILVA, M.A.G.; BOARETTO, A.E.; FERNANDES, H.G.; SCIVITTARO, W.B. Efeito do cloreto de potássio na salinidade de um solo cultivado com pimentão, *Capsicum annuum* L., em ambiente protegido. **Acta Scientiaru Agronomy**. v. 23, n. 5, p. 1085-1089. 2001a.

SOARES FILHO, W. S.; GHEYI, H. R.; BRITO, M. E. B.; NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D.; MIRANDA, R. S. Melhoramento genético e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. IN: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (ed.) **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. p. 259-274. 2016.

SÖDERSTRÖM, B.; BÅÅTH, E.; LUNDGREN, B. Decrease in soil microbial activity and biomasses owing to nitrogen. **Canadian Journal of Microbiology**. v.29. n. 11.p.1500-1506. 1983.

SOURI, M.K. Effectiveness of chloride compared to 3,4-dimethylpyrazole phosphate on nitrification inhibition in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 41. p. 1769-1778. 2010.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: Black CA (ed) Methods of soil analysis. Madison, **American Society of Agronomy**. p.1551-1572. 1965.

TAVARES, R. de C. **Efeito da inoculação com fungos micorrízico arbuscular e da adubação orgânica no desenvolvimento de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.), sob estresse salino**. 2007. 67p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.2007.

TÔRRES, A.N.; PEREIRA, P.R.; TÔRRES, J.T.; GALLOTTI, G.J.; PILATI, J.Á.; REBELO, J.A.; HENKELS, H. **A salinidade e suas implicações no cultivo de plantas** (Epagri. Documentos, 215). Florianópolis. 54 p. 2004.

VIEIRA- MEGDA, M. X. **Transformações do N derivado do fertilizante no solo e a eficiência de utilização pela cultura da cana-de-açúcar cultivada em solo coberto por palha**. 2013. 156 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2013.

VIEIRA, M.X. **Eficiência agrônômica da adubação de soqueira de cana-de-açúcar com cloreto de amônio**. 2009. 134 p. Tese de Doutorado.- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, SP. 2009.

VIEIRA-MEGDA M.X.; MARIANO, E.; LEITE, J.M.; MEGDA, M.M.; TRIVELIN, P.C.O. Chloride ion as nitrification inhibitor and its biocidal potential in soils. **Soil Biology and Biochemistry**. v.72. p.84-87. 2014.

VOLK, G.M. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf on base soils. **Agron. J.** v. 51. p. 746- 749, 1959.

WEBER, O. B.; LOURES, E. G.; BORGES, A. C.; REGAZZI, A. J.; BARROS, N. F. de Atividade da microbiota em casca de eucalipto: efeito da aplicação de cinza, nitrogênio e fosforo. **Revista Arvore**, Viçosa, v.11, n.1, p.16-24. 1987.

WILKINSON, S.R.; GRUNES, D.L.; SUMNER, M.E. **Nutrient interaction in soil and plant nutrition**. In: SUMNER, M.E., ed. Handbook of soil science. Boca Raton, CRC Press. p.89-112. 1999.

YAMADA, T. Melhoria na eficiência da adubação aproveitando as interações entre os nutrientes. **Informações Agrônomicas**. Piracicaba, n. 100, p. 1-5, 2002.

**CAPÍTULO II - DESENVOLVIMENTO
VEGETATIVO DA BANANEIRA “PRATA
CATARINA” E ATIVIDADE MICROBIANA DO
SOLO EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA E
NITROGENADA**

RESUMO

VIANA, Nayara Ellane Pereira. **Desenvolvimento vegetativo da bananeira “Prata Catarina” e atividade microbiana do solo em função da adubação potássica e nitrogenada.** 2018. 61p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) – Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, MG.⁵

O desenvolvimento das plantas, bem como dos microrganismos do solo, é afetado pela elevada concentração de sais oriunda da aplicação excessiva de fertilizantes potássicos e nitrogenados. Essa prática é especialmente preocupante em regiões áridas e semiáridas, trazendo sérios prejuízos à agricultura. Objetivou-se avaliar a atividade microbiana no solo e o desenvolvimento vegetativo da cultura da banana ‘Prata’ em função da adubação com doses de potássio e nitrogênio. O experimento foi conduzido em casa de vegetação por um período de 120 dias, em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 6 x 2 (+1 tratamento adicional) com 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos de 6 doses de potássio (0, 50, 100, 200, 300 e 400 mg dm⁻³ de K₂O aplicadas na forma de cloreto de potássio - KCl) e 2 doses de nitrogênio (200 e 400 mg dm⁻³ de N na forma de sulfato de amônio – (NH₄)₂SO₄), mais uma parcela controle (sem aplicação de K₂O e N). As seguintes avaliações foram realizadas no solo aos 5 e 120 dias após o plantio - DAP: condutividade elétrica, teor de amônio e cloreto, carbono mineralizável e carbono orgânico total do solo. Ao final do período experimental foram avaliadas as características biométricas da cultura (altura, diâmetro e número de folhas), a produção de fitomassa da parte aérea e de raízes e a concentração de cloreto na parte aérea. Durante a condução do experimento de casa de vegetação quantificou-se a atividade microbiana em 5 períodos (5, 30, 60, 90 e 120 dias após incubação com os tratamentos - DAI). O aumento das doses de potássio e nitrogênio (acima de 200 mg dm⁻³) provocou acúmulo de sais na solução do solo ao longo do período avaliado, ocasionando aumento na condutividade elétrica da solução. O acúmulo de íons no solo, especialmente cloreto e amônio, reduziu a atividade microbiana, havendo menor emissão de carbono mineralizável na forma de CO₂. Os processos de amonificação e nitrificação no solo foram afetados pelo aumento das doses de potássio e nitrogênio, ocasionando redução nos teores de N mineralizado e mantendo o N aplicado predominantemente na forma amoniacal (N-NH₄⁺). O aumento das doses de potássio e nitrogênio promoveram menor desenvolvimento vegetativo da banana ‘Prata’, com menores valores médios para a altura de pseudocaule, peso fresco da parte aérea, peso fresco e seco de raiz e volume de raiz a partir da dose 200 mg

⁵**Comitê orientador:** Prof. D.Sc. Michele Xavier Vieira Megda (Orientadora) – UNIMONTES; Prof. D.Sc. Marcio Mahmoud Megda (Coorientador) – UNIMONTES.

dm⁻³ de K₂O. Conclui-se, portanto, que o acúmulo de sais na solução do solo decorrente da aplicação de elevadas doses de KCl e (NH₄)₂SO₄, acarretou distúrbios na planta em função das elevadas concentrações de íon cloreto absorvidas, afetando o desenvolvimento vegetativo da bananeira e os processos químicos e biológicos do solo, como a atividade microbiana e as transformações do N.

Palavras-chave: *Musa* spp., Estresse salino, Cloreto de Potássio, Sulfato de Amônio, Sistema radicular, Salinidade.

ABSTRACT

VIANA, Nayara Ellane Pereira. **Vegetative development of the "Prata Catarina" banana and microbial activity of the soil due to potassic and nitrogen fertilization.** 2018. 61p. Dissertation (Master's Degree in Plant Production in the Semi-Arid) - State University of Montes Claros, Janaúba, MG.⁶

The growth of plants and soil microorganisms, is affected by the high concentration of salts resulting from the excessive application of potassic and nitrogen fertilizers. This practice is particularly worrisome in arid and semi-arid regions, causing serious damage to agriculture. The objective of this study was to evaluate the microbial activity in the soil and the vegetative growth of the banana crop as a function of the fertilization with potassium and nitrogen doses. The experiment was conducted in a greenhouse for a period of 120 days, in a completely randomized design and factorial scheme 6 x 2 (+1 additional treatment), with 4 replicates. The treatments consisted of 6 doses of potassium (0, 50, 100, 200, 300 and 400 mg dm⁻³ of K₂O applied as potassium chloride - KCl) and 2 doses of nitrogen (200 and 400 mg dm⁻³ of N as ammonium sulphate - (NH₄)₂SO₄), plus one control plot (without application of K₂O and N). The following evaluations were carried out in the soil at 5 and 120 days after planting - DAP: electrical conductivity, ammonium content and chloride, mineralizable carbon and total organic carbon of soil. At the end of the experimental period the biometric characteristics of the crop (height, diameter and number of leaves), biomass production of shoot and root and chloride concentration in the shoot were evaluated. During the greenhouse experiment the microbial activity was quantified in 5 periods (5, 30, 60, 90 and 120 days after incubation with the treatments - DAI). The increase of the potassium and nitrogen doses (above 200 mg dm⁻³) caused accumulation of salts in the soil solution during the evaluated period, causing an increase in the electrical conductivity of the solution. The accumulation of ions in the soil, especially chloride and ammonium, reduced the microbial activity, with lower emission of mineralizable carbon as CO₂. The processes of ammonification and nitrification in the soil were affected by the increase of the potassium and nitrogen doses, causing a reduction in the mineralized N contents and maintaining the N applied predominantly in the ammoniacal form (N-NH₄⁺). The increase of potassium and nitrogen doses promoted a lower vegetative growth of the banana 'Prata', with lower average values for pseudocaul height, fresh shoot mass, fresh and dry mass of root and root volume from the dose 200 mg dm⁻³ of K₂O. It is concluded, therefore, that the accumulation of salts in the solution of the soil due to the application of high

⁶**Guidance committee:** Prof. D.Sc. Michele Xavier Vieira Megda (Advisor) – UNIMONTES; Prof. D.Sc. Marcio Mahmoud Megda (Co-advisor) - UNIMONTES.

KCl and $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ doses, causes disturbances in the plant due to the high concentrations of absorbed chloride ion, affecting the vegetative growth of the banana crop and the chemical processes and biological properties of soil, such as microbial activity and N transformations.

Keywords: *Musa* spp., Saline stress, Potassium chloride, Ammonium sulfate, Root system, Salinity.

1 INTRODUÇÃO

A banana está entre as frutíferas de maior expressão econômica no Brasil, apresentando maior destaque nas últimas décadas (ALMEIDA *et al.*, 2015). Esta expressividade está relacionada a grande aceitação da fruta “*in natura*” no mercado nacional e de seus derivados (POIANI *et al.*, 2008). Além disso, às condições edafoclimáticas favoráveis para o seu crescimento e desenvolvimento (ALMEIDA *et al.*, 2015) associadas ao manejo racional de fertilizantes são pilares da produção sustentável.

Dentre os fatores considerados limitantes para o cultivo da banana, destacam-se a baixa disponibilidade de água e nutrientes no solo durante seu ciclo. O manejo adequado desta espécie vegetal em relação a fatores abióticos tais como salinidade e desequilíbrio nutricional, são fundamentais para obter alta produtividade e maior longevidade da planta (SILVA, 2015), porém tem sido pouco estudada a interação entre esses fatores e seu reflexo na produtividade da bananeira.

A cultura da banana requer a aplicação de elevadas doses de nutrientes para o seu desenvolvimento e a obtenção de altas produtividades, absorvendo e exportando elevadas concentrações destes em função da grande quantidade de massa vegetativa produzida. O potássio (K), juntamente com o nitrogênio (N) são os nutrientes mais absorvidos, sendo essenciais para a produção de frutos de qualidade superior. Em geral, a quantidade de potássio recomendada pode variar de 100 a 750 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O, enquanto que a dose de nitrogênio recomendada varia de 90 a 300 kg ha⁻¹ ano⁻¹, dependendo do teor encontrado no solo (SILVA, 2015).

Em zonas áridas e semiáridas, como o Norte de Minas Gerais, as temperaturas elevadas e a irregularidade das chuvas com ocorrência de até nove meses de seca constituem-se fatores limitantes para o desenvolvimento e a produtividade das culturas. O acúmulo de sais no solo, provocado pelo uso excessivo de fertilizantes, especialmente àqueles de alto índice salino, é

favorecido, principalmente, pela elevada evapotranspiração e a baixa precipitação.

Diversos autores ressaltaram os efeitos deletérios da salinidade causada pelo manejo inadequado de fertilizantes de elevado índice salino – a exemplo do cloreto de potássio, estes constituem-se sérios obstáculos ao sistema de produção em muitas regiões semiáridas, tanto pelas alterações dos atributos físicos e químicos dos solos como pela ação dos íons específicos sobre o crescimento, a produção e a nutrição de plantas; devido alterações do potencial osmótico, da toxicidade iônica e do desequilíbrio da absorção dos nutrientes (AHMED e MONTANI, 2010; DIAS e BLANCO, 2010; CAVALCANTE *et al.*, 2010).

Além disso, condições de elevada salinidade podem limitar a atividade dos microrganismos que são partes integrantes dos processos de decomposição e da ciclagem de nutrientes no solo. O aumento da concentração de sais, portanto, tem efeito prejudicial em processos biológicos ocorridos no solo como a mineralização do N e a nitrificação do amônio. Vários estudos em condições de laboratório e campo, comprovaram que o Cl⁻, mesmo em baixas concentrações, tem o poder de inibir a nitrificação do amônio no solo (MCGUIRE *et al.*, 1999; CHEN e WONG, 2004; VIEIRA-MEGDA *et al.*, 2014 e 2015; MARIANO *et al.*, 2016).

Dessa forma, objetivou-se avaliar a atividade microbiana no solo e o desenvolvimento vegetativo da cultura da banana em função da adubação com doses de potássio e nitrogênio, além dos efeitos do acúmulo de Cl⁻ e amônio nas transformações do N no solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização do Solo

O solo foi coletado no município de Riacho dos Machados – MG, em março de 2016, na profundidade de 0 a 20 cm, sob vegetação de cerrado, com mata preservada. Segundo a classificação de Köppen, a referida região apresenta clima do tipo Aw' (tropical com inverno seco), altitude de 900 m, coordenadas geográficas: 16° 5' 35" S e 43° 2' 54" W.

O solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico, foi caracterizado com relação às suas características físicas e químicas no Laboratório de Solos da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG Norte (Tabela 1).

A partir do resultado da análise do solo, corrigiu-se a acidez com carbonato de cálcio (CaCO_3), até atingir 70% da saturação por bases (V%), sendo o fósforo aplicado na forma de superfosfato triplo ($63,7 \text{ mg dm}^{-3}$ da fonte, equivalente a $26,1 \text{ mg dm}^{-3}$ de P_2O_5). O suprimento de enxofre foi realizado indiretamente mediante as adubações nitrogenadas (na aplicação dos tratamentos), com sulfato de amônio (24% de S).

A aplicação de micronutrientes foi realizado no plantio, mediante a necessidade indicada pela análise química de solo e recomendação para a cultura da bananeira. A quantidade aplicada foi de 40 mg dm^{-3} de Agramix BR06.

TABELA 1. Análises químicas e físicas do solo antes da aplicação dos tratamentos

Característica	Método	Unidade	Média
pH	Em água	-	4,0
MO ¹	Colorimetria	dagkg ⁻¹	2,7
P	Mehlich-1	mg dm ⁻³	0,6
K ⁺	Mehlich-1	mg dm ⁻³	35
Na ⁺	Mehlich-1	cmol _c dm ⁻³	0,1
Ca ⁺⁺	KCl 1 molL ⁻¹	cmol _c dm ⁻³	0,5
Mg ⁺⁺	KCl 1 molL ⁻¹	cmol _c dm ⁻³	0,2
Al ⁺⁺⁺	KCl 1 molL ⁻¹	cmol _c dm ⁻³	0,9
H+Al	pH SMP	cmol _c dm ⁻³	12,0
SB ²		cmol _c dm ⁻³	0,9
t ³		cmol _c dm ⁻³	1,8
T ⁴		cmol _c dm ⁻³	12,9
V ⁵		%	7,0
m ⁶		%	51,0
B	CaCl ₂	mg dm ⁻³	0,2
Cu ⁺⁺	Mehlich-1	mg dm ⁻³	0,2
Fe ⁺⁺	Mehlich-1	mg dm ⁻³	73,8
Mn ⁺⁺	Mehlich-1	mg dm ⁻³	4,9
Zn ⁺⁺	Mehlich-1	mg dm ⁻³	1,1
CE ⁷	Em água	dS m ⁻¹	0,1
Areia		dag kg ⁻¹	34
Silte		dag kg ⁻¹	2
Argila		dag kg ⁻¹	64
Classificação textural do solo			Muito Argiloso

¹Matéria orgânica do solo; ²soma de bases; ³CTC efetiva; ⁴CTC a pH 7,0; ⁵ saturação por bases; ⁶ saturação por alumínio; ⁷ condutividade elétrica do solo.

2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, disposto em esquema fatorial 6 x 2 (6 doses de K_2O x 2 doses de N) + 1 controle (sem a aplicação de K_2O e N), com 4 repetições, totalizando 52 parcelas experimentais. As doses de potássio e nitrogênio utilizadas foram: 0, 50, 100, 200, 300 e 400 $mg\ dm^{-3}$ de K_2O aplicadas na forma de cloreto de potássio (KCl) e 200 e 400 $mg\ dm^{-3}$ de N na forma de sulfato de amônio ($(NH_4)_2SO_4$).

Após a coleta, o solo foi colocado para secar à sombra, posteriormente destorroado e passado em peneira de malha 2 mm, retirando-se resíduos vegetais presentes e obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). A capacidade máxima de retenção de água (CMRA) foi obtida a partir da saturação por capilaridade de amostras de solo de 80 g em copos plásticos por período de 3 horas e posterior drenagem da água livre por 6 horas adicionais (BREMNER e SHAW, 1958). Em seguida, uma subamostra de solo foi seca em estufa a 105 °C por 72 horas para determinação da umidade.

As amostras de solo foram acondicionadas em vasos de 10 L e pré-incubadas por um período de 30 dias com carbonato de cálcio a 50% da CMRA, buscando o restabelecimento da atividade microbiana. Durante esse período, a reposição de água nas amostras de solo foi efetuada três vezes por semana.

2.3 Instalação e condução do experimento

Ao fim do período de pré-incubação das amostras de solo, a fonte de K_2O e N (cloreto de potássio e sulfato de amônio, respectivamente) foram solubilizadas em água destilada, em quantidade suficiente para elevação da umidade do solo a 70% da CMRA e incorporadas homoganeamente ao solo. Posteriormente, as mudas de banana 'Prata Catarina' foram plantadas.

Simultaneamente ao experimento de casa de vegetação, os solos contendo os tratamentos foram incubados por um período de 120 dias em temperatura ambiente para avaliação da atividade microbiana.

2.4 Avaliações

2.4.1 Condutividade elétrica da solução do solo

As análises de condutividade elétrica (CE) do solo foram realizadas aos 5 e 120 dias após o plantio - DAP, e determinada de acordo com metodologia proposta por Raij *et al.* (2001), na relação solo: água 1:5 (m/v), com correção dos valores de temperatura do extrato para 25°C.

2.4.2 Teor de amônio no solo

As quantificações de N-amônio (N-NH_4^+) no solo foram realizadas aos 5 e 120 DAP em subamostras de 50 g na base úmida. A extração foi realizada com $\text{KCl } 2 \text{ mol L}^{-1}$ (na relação solo: solução 1:5 – m/v), sob agitação por 30 minutos (CANTARELLA e TRIVELIN, 2001) e posterior filtração do sobrenadante com papel de filtro. O N amoniacal foi determinado por destilação a vapor (método Kjeldahl).

2.4.3 Teor de cloreto no solo

O ânion cloreto (Cl^-) foi extraído em solução aquosa aos 5 e 120 DAP, o mesmo titulado com AgNO_3 , na presença de cromato de potássio – K_2CrO_4 como indicador. O ponto final da titulação, foi determinado pela coloração marrom pálida, resultante da formação de cromato de prata depois de toda a precipitação do cloro como AgCl (EMBRAPA, 1997).

2.4.4 Carbono mineralizável–Respiração microbiana

O método da respirometria ou carbono mineralizável tem como objetivo quantificar o quanto de carbono (CO_2) é emitido (respirado) pela microbiota do solo em um determinado período de tempo. O CO_2 emitido pela respiração da microbiota do solo foi estimado aos 5, 30, 60, 90 e 120 DAI, em amostras de 50g de terra fina seca ao ar (TFSA), mantendo-se a umidade a 70% da CMRA.

As amostras de solo foram acondicionadas em recipientes plásticos vedados hermeticamente e mantidos em temperatura ambiente. O CO_2 produzido pela atividade respiratória da biomassa microbiana do solo foi capturado por meio de solução de NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e, em cada tempo de avaliação pré-determinado, procedeu-se a titulação com HCl $0,25 \text{ mol L}^{-1}$, usando-se como indicador a fenolftaleína a 1%.

Foram utilizados como controle (branco), recipientes que não continham amostras de solo. A quantidade de CO_2 liberado foi calculada pela diferença entre o volume gasto de HCl na titulação do branco e o volume gasto de HCl na titulação das amostras de solo, sendo o resultado expresso em mg de C- CO_2 100 cm^{-3} de solo (STOTZKY, 1965; CURL e RODRIGUEZ-KABANA, 1972; ALEF, 1995).

2.4.5 Carbono orgânico total

O carbono orgânico (COT) foi determinado aos 5 e 120 DAP conforme metodologia de Raij (2001), no qual o C na sua forma orgânica é parcialmente oxidado com solução de dicromato de potássio em meio fortemente ácido e posteriormente as amostras tituladas com sulfato ferroso II $0,4 \text{ mol L}^{-1}$ padronizado. O ponto final da titulação, foi determinado pela viragem da coloração marrom esverdeada para verde.

2.4.6 Carbono da biomassa microbiana

O C da biomassa microbiana do solo (BMS) foi determinado aos 120 DAP, pelo método da irradiação-extração (MENDONÇA e MATOS, 2005), que consiste no uso de energia eletromagnética (microondas), causando efeito na transferência de energia e temperatura, o que leva ao rompimento celular com liberação dos compostos intracelulares. Segundo o método proposto por Islam e Weil (1998), a energia necessária para provocar a lise bacteriana é de $800 \text{ J s}^{-1} \text{ g}^{-1}$ solo em base seca.

Contudo, os autores enfatizam que a temperatura da massa de solo úmido deve ficar acima de $80 \text{ }^\circ\text{C}$, e não deve ultrapassar $88 \text{ }^\circ\text{C}$ para não provocar a liberação de C não microbiano durante a irradiação. Antes da realização da extração, a calibração do aparelho de microondas foi feita utilizando um volume conhecido de água e, em seguida, foi preestabelecido o tempo de irradiação para a elevação da temperatura no interior do microondas.

Posteriormente, a extração foi realizada com sulfato de potássio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$; e a quantificação por meio da oxidação com dicromato de potássio $0,066 \text{ mol L}^{-1}$; seguida de titulação com sulfato ferroso II $0,4 \text{ mol L}^{-1}$.

2.4.7 Quociente metabólico

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) foi estimado aos 120 DAP, por meio da relação entre a taxa de respiração microbiana (TRM) e o C da biomassa microbiana (BMS), sendo expresso em $\text{mg C-CO}_2 \text{ mg}^{-1}\text{Cmic dia}^{-1}$ (ANDERSON e DOMSH, 1993), conforme as fórmulas a seguir:

$$q\text{CO}_2 = \text{TRM}/\text{BMS} \quad (1)$$

$$\text{TRM} = \text{RM}/d \quad (2)$$

em que:

$q\text{CO}_2$ = quociente metabólico ($\text{mg C-CO}_2 \text{ mg}^{-1}\text{Cmic dia}^{-1}$);

TRM = taxa de respiração microbiana ($\text{mg C-CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ dia}^{-1}$);

RM= respiração microbiana (mg C-CO₂ kg⁻¹);

d= dias de incubação para a determinação da respiração microbiana;

BMS= carbono da biomassa microbiana do solo (mg C kg⁻¹).

2.4.8 Quociente microbiano

O quociente microbiano (q_{BMS}) foi estimado aos 120 DAP, por meio da relação entre o carbono microbiano (C_{BMS}) e o C total (COT), sendo expresso em mg C-CO₂ mg⁻¹Cmic dia⁻¹ de acordo com Sparling (1992), conforme as fórmulas a seguir:

$$q_{BMS} = C_{BMS}/COT$$

em que:

q_{BMS} = quociente microbiano (mg C-CO₂ mg⁻¹ Cmic dia⁻¹);

BMS = carbono da biomassa microbiana do solo (mg C kg⁻¹).

COT = carbono orgânico total (dag dm⁻³)

2.4.9 Características biométricas da cultura

Ao final do experimento, 120 DAP, foram realizadas as avaliações biométricas. As variáveis mensuradas foram: altura do pseudocaule, diâmetro do pseudocaule a 0,10 m da superfície do solo, número de folhas vivas, comprimento e largura foliar.

Posteriormente, procedeu-se a separação da parte aérea, solo e raízes utilizando-se o auxílio de peneira de malha 1,0 mm. Em seguida, as amostras foram conduzidas para o laboratório, sendo a parte aérea e o sistema radicular devidamente higienizados, primeiramente com água corrente e em seguida com água destilada para retirada de resíduos de solo e/ou poeira e colocadas pra secar em bancadas com papel toalha.

O volume da raiz foi avaliado utilizando-se proveta de 2000 mL, onde as raízes de banana foram secas com papel toalha, em seguida as mesmas foram imersas dentro da proveta com água e pelo deslocamento da

solução determinou-se o volume da raiz (mL). Por meio da diferença, obteve-se a quantidade de forma direta do volume de raízes, considerando a equivalência de unidades ($1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3$), segundo metodologia descrita por Basso (1999).

A massa fresca da parte aérea e de raiz foi quantificada com o auxílio de balança de precisão, e após secagem por 72 horas em estufa de circulação forçada de ar a $65 \text{ }^\circ\text{C}$, foi determinada a massa seca.

2.4.10 Concentração de cloreto na parte aérea da bananeira

A determinação de cloreto (Cl^-) foi adaptada, tomando como base os trabalhos de Lacroix *et al.* (1970) e Malavolta *et al.* (1989). As amostras do material vegetal foram identificadas, lavadas com água corrente e em seguida com água destilada. Logo após a higienização das amostras, essas foram colocadas em sacos de papel e transferidas para estufa a $65 \text{ }^\circ\text{C}$, com circulação forçada de ar, durante um período de 72 horas ou até peso constante. Depois de secas, as amostras foram moídas em moinho mecânico com peneira de 1 mm de diâmetro e armazenadas em frascos plásticos com tampa.

Para a extração do Cl^- , pesou-se 1 g de matéria seca e, em seguida essas amostras foram agitadas por 15 minutos com 100 ml de solução de nitrato de cálcio - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ a $0,085 \text{ mol L}^{-1}$. Os extratos foram obtidos após filtragem (com papel de filtro), sendo posteriormente armazenados em frascos com tampa.

O Cl^- , extraído por meio da solução de nitrato de cálcio, foi titulado com solução padronizada de nitrato de prata (AgNO_3), na presença de cromato de potássio (K_2CrO_4) como indicador. O ponto final da titulação foi identificado pela coloração vermelha, resultante da formação de cromato de prata depois de toda a precipitação do cloreto (AgCl), pois, o cromato de prata é mais solúvel que o cloreto de prata.

2.5 Análise Estatística

Os tratamentos foram comparados dentro de cada tempo de amostragem realizado ao longo do período experimental e os resultados submetidos a análise de variância utilizando-se o teste F ao nível de 5% de probabilidade. Os desdobramentos das interações significativas para doses de K_2O dentro de cada dose de N foram realizados por estudo de regressão. Para avaliar a diferença de tratamentos entre as duas doses de nitrogênio e dentro de uma mesma dose se potássio aplicou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$). A diferença entre a parcela controle e os demais tratamentos (K x N) foi analisada por meio do teste de Dunnett ($p < 0,05$). Como ferramenta de auxílio às análises estatísticas, adotou-se os programas estatísticos SAS (Statistical Analysis System) e RStudio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram constatadas interações significativas ($p < 0,05$) entre doses de K x N para a CE em todos os períodos avaliados (Tabela 2) e, de forma geral, a maior dose de N (400 mg dm^{-3}) foi a que proporcionou os maiores valores de CE da solução do solo. A CE variou entre $0,04 \text{ dS m}^{-1}$ para o controle a $3,23 \text{ dS m}^{-1}$ para o tratamento com 400 mg dm^{-3} de $\text{K}_2\text{O} + 400 \text{ mg dm}^{-3}$ de N aos 5 DAP. Aos 120 DAP os valores variaram entre $0,06 \text{ dS m}^{-1}$ para parcela controle a $1,20 \text{ dS m}^{-1}$ para o tratamento com 400 mg dm^{-3} de $\text{K}_2\text{O} + 400 \text{ mg dm}^{-3}$ de N (Tabela 2), evidenciando o aumento da salinidade do solo, por meio da aplicação de KCl e $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

A banana é uma planta glicófito e, portanto, muito sensível à salinidade do solo (OLIVEIRA *et al.*, 2000). Com base na recomendação, o cultivo da banana deve ser feito em solo com CE abaixo de 1 dS m^{-1} (ABREU *et al.*, 1982; DOORENBOS e KASSAN, 1983; OLIVEIRA, 1999; SILVA *et al.*, 2002). No entanto, Israeli *et al.* (1986) afirmaram, que para causar atraso no crescimento e declínio na produção da banana são necessários valores médios de CE de água e solo a partir de 3,6 e $3,0 \text{ dS m}^{-1}$, respectivamente. Os valores encontrados aos 5 DAP foram, considerados inadequados para a implantação da cultura.

Constatou por meio do desdobramento da interação K x N que a CE do solo foi influenciada pelas doses de K_2O ($p < 0,05$) independentemente da dose de N aplicada, conforme modelos de equações apresentados na Tabela 2. À medida que se aumentou a dose de K_2O observou-se aumento nos valores médios de CE (Figura 1). Esses resultados são reforçados por meio do teste de Dunnett, considerando os valores de CE encontrados para o controle ($< 0,1 \text{ dS m}^{-1}$) em relação aos demais tratamentos; o que evidencia que a aplicação conjunta de potássio e nitrogênio aumentou significativamente a CE do solo (Tabela 2).

TABELA 2. Condutividade elétrica (CE em dS m⁻¹) da solução do solo cultivado com bananeira ‘Prata Catarina’ em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), 5 e 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017

DAP	CTR ¹	N ²	K ₂ O (mg dm ⁻³)						Equação	Regressão		Interação	
			0	50	100	200	300	400		R ²	CV%	F	CV%
5	0,04	200	*0,28b	**0,54b	**1,11b	**1,29b	**1,30b	**1,31b	$\hat{Y} = 0,29 + 0,0076x - 0,000013x^2$	0,92***	12,86	68,36***	8,31
		400	**0,41a	**1,22a	**1,24a	**2,30a	**2,38a	**3,23a	$\hat{Y} = 0,6724 + 0,0064x$	0,93***	14,00		
120	0,06	200	^{ns} 0,15b	**0,27b	**0,52a	**0,73b	**0,77b	**0,88b	$\hat{Y} = 0,2403 + 0,0018x$	0,89***	11,11	6,98***	7,32
		400	**0,27a	**0,49a	**0,60a	**0,96a	**0,99a	**1,20a	$\hat{Y} = 0,3625 + 0,0022x$	0,96***	9,14		

¹Tratamento adicional – controle; ²N em mg dm⁻³.

Valores seguidos por letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

***Significativo a 1% de probabilidade. ns: não significativo.

Valores antecidos por * e **: significativos a 5 % e 1%, respectivamente, pelo teste de Dunnett, na comparação da parcela controle com os tratamentos dentro de cada tempo de avaliação.

Aos 120 DAP houve amplo decréscimo no valor médio de condutividade elétrica da solução do solo (Figura 1). É possível inferir que a diminuição da condutividade elétrica aos 120 DAP está relacionado a maior absorção de íons disponíveis pelos microrganismos e pela planta, em função do aumento do volume de raiz e maior demanda de nutrientes que, conseqüentemente, acarreta em menores concentrações eletrolíticas na solução do solo.

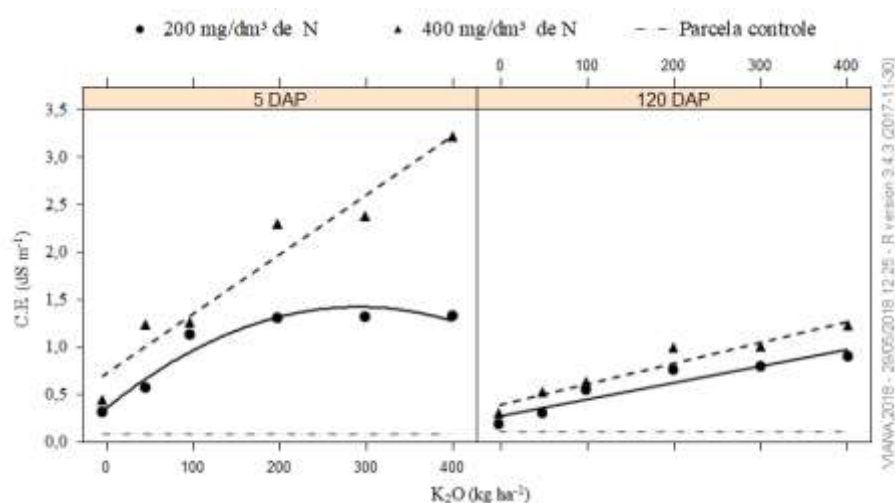


FIGURA 1. Condutividade elétrica (CE) da solução do solo cultivado com bananeira ‘Prata Catarina’ em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), 5 e 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017.

Cuartero e Muñoz (1999), ao avaliarem o efeito da salinidade no cultivo do tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), constataram que os valores de condutividade elétrica da solução do solo aumentou conforme incremento da dose de fertilizantes salinos aplicada. Dias e Blanco (2010) afirmaram que com o passar do tempo o excesso de sais absorvidos pelas plantas pode causar toxidez provavelmente pela facilidade de serem absorvidos pelas raízes e translocados para as folhas velhas, onde se acumularam e ocasionaram queimaduras nas pontas das folhas e queda prematura, retornando, posteriormente, para a solução do solo.

Desse modo, a fonte de potássio e a sua disponibilidade no solo são fatores que devem ser considerados na escolha do fertilizante, geralmente o mais recomendado é alternar as fontes utilizadas, uma vez que tem-se verificado em diversos trabalhos a redução no crescimento das plantas e na produtividade das culturas quando submetidas ao estresse salino, devido à sensibilidade da maioria das culturas, em especial a cultura da banana (SANTOS e GREYI, 1993; SILVA *et al.*, 2002; GONDIM *et al.*, 2006; COELHO *et al.*, 2014).

Para os teores de N-NH_4^+ disponíveis na solução do solo observou-se interação significativa ($p < 0,05$) entre doses de K x N nas duas épocas avaliadas (Tabela 3). A dose de $200 \text{ mg dm}^{-3} \text{ K}_2\text{O}$ foi a que proporcionou os maiores teores de N-NH_4^+ na solução do solo. A parcela controle diferiu dos tratamentos em todos os períodos avaliados, sendo estes superiores à parcela controle (Tabela 3).

Ao avaliar as doses de N, dentro de uma mesma dose de potássio, observou-se maior teor de N-NH_4^+ disponível na solução do solo com o aumento da dose de N (400 mg dm^{-3} aplicada na forma amoniacal). Esse resultado foi constatado em ambos os períodos avaliados (Tabela 3). Aos 5 DAP houve mineralização do N-orgânico do solo para a forma amoniacal quando comparado com a parcela controle (Tabela 3). Se considerarmos a dose de 200 mg dm^{-3} de N pode-se afirmar que houve produção líquida de N-NH_4^+ de $760,5 \text{ mg dm}^{-3}$ para a dose 0 mg dm^{-3} de K_2O e $2159,4 \text{ mg dm}^{-3}$ para a dose de 400 mg dm^{-3} de K_2O .

As respostas dos teores de N-NH_4^+ ao aumento das doses de potássio foram representadas por modelo quadrático de regressão, sendo a dose de 200 mg dm^{-3} de K_2O a que, de forma geral, proporcionou os maiores teores de N-NH_4^+ disponíveis na solução do solo, havendo decréscimo a partir dessa dose.

TABELA 3. Teores de amônio (N-NH₄⁺ em mg dm⁻³) da solução do solo cultivado com bananeira ‘Prata Catarina’ em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), 5 e 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017

DAP	CTL ¹	N ²	K ₂ O (mg dm ⁻³)						Equação	Regressão		Interação	
			0	50	100	200	300	400		R ²	CV%	F	CV%
5	22,7	200	**760,5b	**1847,4b	**2745,5a	**2971,4b	**2214,4b	**2159,4b	$\hat{Y} = 1033,92 + 16,56x - 0,036x^2$	0,78***	16,9	79,9***	6,2
		400	**1627,6a	**2670,8a	**2627,3b	**4805,6a	**4769,4a	**4969,6a	$\hat{Y} = 1563,43 + 19,25x - 0,027x^2$	0,91***	11,5		
120	25,1	200	*267,0b	**746,7b	**1647,6b	**2084,4b	**1506,7b	**1467,9b	$\hat{Y} = 302,08 + 13,64x - 0,0278x^2$	0,85***	19,1	60,0***	5,7
		400	**626,6a	**1679,6a	**2095,2a	**3254,8a	**3402,0a	**2502,4a	$\hat{Y} = 605,02 + 21,22x - 0,041x^2$	0,97***	7,5		
ACM ³	47,8	200	**1027,5a	**2594,0b	**4393,1b	**5055,8b	**3721,1b	**3627,2b	$\hat{Y} = 1336,0 + 30,2x - 0,0638x^2$	0,83***	16,8	159,4***	3,8
		400	**2254,2a	**4350,4a	**4722,6a	**8060,4a	**8171,4a	**7472,0a	$\hat{Y} = 2168,4 + 40,48x - 0,067x^2$	0,96***	8,4		

¹Tratamento adicional – controle; ²N em mg dm⁻³; ³Acumulado.

Valores seguidos por letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

***Significativo a 1% de probabilidade. ns: não significativo.

Valores antecedidos por * e **: significativos a 5 % e 1%, respectivamente, pelo teste de Dunnett, na comparação da parcela controle com os tratamentos dentro de cada tempo de avaliação.

Aos 120 DAP houve redução considerável no teor de N-NH_4^+ do solo (Tabela 3). Esse resultado se deve em parte a absorção pela cultura, imobilização pelos microrganismos ou mesmo em função da nitrificação de parte do amônio disponível na solução do solo. No entanto, apesar da redução nos teores de amônio observados no solo aos 120 DAP, pode-se afirmar que houve reduzida nitrificação deste cátion (Figura 2).

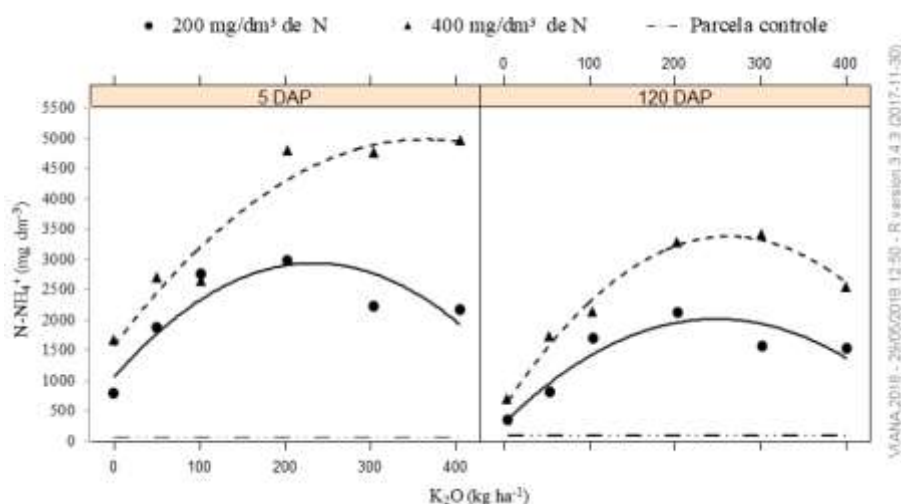


FIGURA 2. Teores de N-Amônio (N-NH_4^+) da solução do solo cultivado com bananeira ‘Prata Catarina’ em função da aplicação de doses de potássio (K_2O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), 5 e 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017.

Vieira-Megda *et al.* (2014), ao avaliar o potencial do íon cloreto como inibidor do processo de nitrificação no solo, quando da aplicação de doses de KCl e NH_4Cl , concluíram que o íon cloreto do fertilizante suprimiu a passagem do amônio para a forma nítrica. Vieira-Megda (2013), estudando os processos de mineralização e imobilização do N no solo, verificaram que em solos aerados o NH_4^+ disponível passa para a forma de NO_2^- e, posteriormente, NO_3^- dentro de um curto espaço de tempo, menos de 1 semana, praticamente zerando os teores de N-NH_4^+ no solo. No presente estudo, aos 120 DAP havia quantidades elevadas de N-NH_4^+ na solução do

solo (Tabela 3), corroborando a hipótese de que o Cl^- inibe a oxidação do amônio.

O aumento da concentração de N-NH_4^+ com o incremento das doses de potássio na forma de KCl ocorreu, principalmente, devido ao excesso da concentração de Cl^- na solução do solo, acarretando menor oxidação do nitrogênio amoniacal a nitrito pelas bactérias nitrificantes, possivelmente pela ação biocida do Cl^- na solução do solo, assim como verificado no capítulo I.

De acordo McGuire *et al.* (1999) e Drew (1975), isso ocorreu devido a elevada reatividade dos compostos clorados, responsável pela ação oxidativa da matéria orgânica, pois difunde-se com facilidade através das paredes celulares dos microrganismos e reage com as proteínas celulares, oxidando pontos ativos essenciais à respiração celular, destruindo estruturas vitais e assim, causando sua morte.

Sánchez *et al.* (2004), avaliando a inibição da nitrificação induzida pelo cloreto, observaram baixas taxas de oxidação do amônio e nitrito após aplicação de 70 g L^{-1} de NaCl . Porém, a capacidade oxidativa dos microrganismos responsáveis por ambas as etapas da nitrificação foi recuperada quando submetidos a dose menor de NaCl (24 g L^{-1}), demonstrando a capacidade de resiliência dos microrganismos em condições salinas. No presente estudo, ao avaliar a atividade microbiana aos 30 DAP (Figura 5), verificou-se aumento na atividade respiratória da microbiota do solo, decrescendo aos 90 e 120 DAP quando em doses elevadas de K_2O . Fato que será discutido mais adiante.

Sánchez *et al.* (2004) observaram ainda que a taxa de nitratação foi mais afetada pelo ambiente salino do que a taxa de nitrificação, induzindo o acúmulo de nitrito (NO_2^-) no solo. Enquanto, em baixas concentrações salinas, esse efeito foi menos pronunciado. Nessa mesma linha de pesquisa, Golden *et al.* (1980) estudaram o efeito do cloreto de potássio na nitrificação quando da aplicação de doses de sulfato de amônio em solo Podzólico Vermelho-Amarelo ácido. Os autores observaram que a adição de KCl

efetivamente diminuiu a nitrificação e o efeito se deu em função da presença do Cl^- e não do K^+ .

Ao avaliar o teor de N-NH_4^+ acumulado na solução do solo aos 120 DAP (Tabela 3 e Figura 3), observou-se de acordo com a regressão quadrática, que o ponto de máxima foi de $236,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de K_2O para a dose de 200 mg dm^{-3} de N ($4908,7 \text{ mg dm}^{-3}$ de N-NH_4^+ acumulado), enquanto que para a dose de 400 mg dm^{-3} de N o ponto de máxima foi de $298,8 \text{ mg dm}^{-3}$ de K_2O ($8218,2 \text{ mg dm}^{-3}$ de N-NH_4^+ acumulado), apresentando decréscimo nos teores de N-Amônio acumulado a partir destas doses e, conseqüentemente, efeito deletério nos processos de mineralização e nitrificação do nitrogênio.

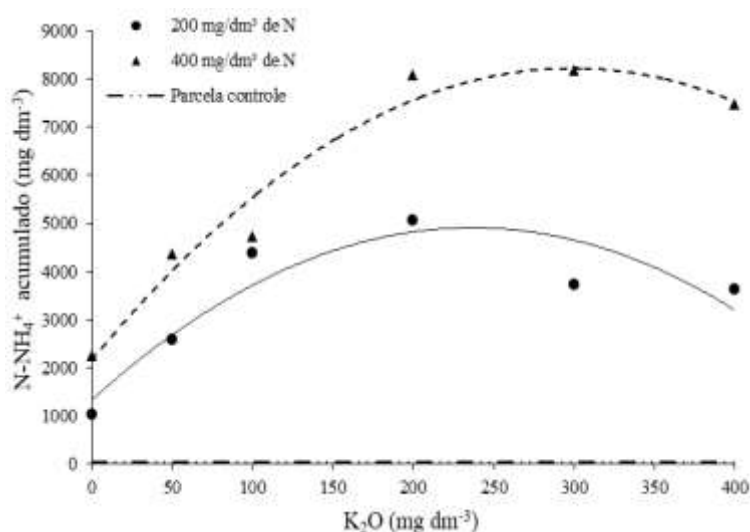


FIGURA 3. Teores de N-amônio (N-NH_4^+) acumulado da solução do solo cultivado com bananeira 'Prata Catarina' em função da aplicação de doses de potássio (K_2O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), aos 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017.

O nitrato é a principal forma disponível de N em solos bem aerados. De acordo com Yamada (2002), a inibição da nitrificação, fazendo com que o NH_4^+ predomine na solução do solo, promove vários desarranjos às plantas devido, principalmente, as alterações na estrutura dos cloroplastos causadas pela toxicidade da amônia.

Em relação à importância da interação K x N, Dobb e Thompson (1985), sustentaram a hipótese que a absorção e o transporte do NO_3^- para a parte aérea das plantas, via xilema, envolve o K^+ , assim como sua descida via floema com o malato. O malato transportado para as raízes juntamente com o K^+ é descarboxilado para piruvato e ânion bicarbonato (HCO_3^-). O HCO_3^- pode então ser trocado pelo NO_3^- , produzindo o aumento do pH na rizosfera. Dessa forma, a ciclagem do K^+ é o elemento-chave para o funcionamento deste mecanismo e depende da adequada concentração de K^+ no solo.

Foram constatadas interações significativas ($p < 0,05$) entre doses de K e N para os teores de Cl^- na solução do solo em ambas as épocas avaliadas (Tabela 4). De modo geral, os tratamentos submetidos a 400 mg dm^{-3} de N foram os que proporcionaram os maiores teores disponíveis do Cl^- na solução do solo independente da dose de K_2O aplicada (Figura 4), o que é reforçado quando se observa os teores acumulados ao final do período avaliado (Figura 5).

Esse fato pode ser explicado principalmente pela presença do NO_3^- originado da nitrificação de parte do NH_4^+ adicionado ou mineralizado. Este ânion compete com o Cl^- pelos sítios de adsorção do complexo de troca favorecendo a maior disponibilidade de Cl^- na solução do solo.

TABELA 4. Teores de cloreto (Cl⁻ em mg dm⁻³) da solução do solo cultivado com bananeira ‘Prata Catarina’ em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), 5 e 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017

DAP	CTL ¹	N ²	K ₂ O (mg dm ⁻³)					Equação	Regressão		Interação		
			0	50	100	200	300		400	R ²	CV%	F	CV%
5	24,6	200	^{ns} 23,4b	^{**} 84,4b	^{**} 113,9b	^{**} 151,9a	^{**} 243,7b	^{**} 249,0b	$\hat{Y} = 29,966 + 0,88x - 0,0008x^2$	0,94 ^{***}	14,55	19,1 ^{***}	10,5
		400	[*] 60,9a	^{**} 113,9a	^{**} 143,5a	^{**} 173,0a	^{**} 316,5a	^{**} 417,8a	$\hat{Y} = 53,616 + 0,861x$	0,96 ^{***}	13,01		
120	24,1	200	^{ns} 20,4b	^{**} 70,9a	^{**} 84,4b	^{**} 118,2b	^{**} 116,5b	^{**} 119,0b	$\hat{Y} = 29,33 + 0,656x - 0,0011x^2$	0,94 ^{***}	10,55	12,2 ^{***}	7,2
		400	^{ns} 28,8a	^{**} 76,0a	^{**} 114,8a	^{**} 133,4a	^{**} 168,4a	^{**} 134,31a	$\hat{Y} = 32,41 + 0,89x - 0,00159x^2$	0,94 ^{***}	10,95		
ACM ³	48,7	200	^{ns} 43,7b	^{**} 155,3b	^{**} 198,4b	^{**} 270,1a	^{**} 360,2b	^{**} 368,0b	$\hat{Y} = 96,102 + 0,7802x$	0,91 ^{***}	9,54	16,4 ^{***}	7,7
		400	^{ns} 89,6a	^{**} 189,9a	^{**} 258,3a	^{**} 306,4a	^{**} 484,9a	^{**} 552,2a	$\hat{Y} = 107,4 + 1,32x$	0,96 ^{***}	11,44		

¹Tratamento adicional – controle; ²N em mg dm⁻³; ³Acumulado.

Valores seguidos por letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

***Significativo a 1% de probabilidade. ns: não significativo.

Valores antecidos por * e **: significativos a 5 % e 1%, respectivamente, pelo teste de Dunnett, na comparação da parcela controle com os tratamentos dentro de cada tempo de avaliação.

O aumento da concentração de Cl^- (Figura 4) foi diretamente proporcional ao aumento da condutividade elétrica da solução do solo (Figura 1). Aos 120 DAP, os teores médios de cloreto reduziram expressivamente em relação aos 5 DAP (Tabela 4), especialmente nas maiores doses de K_2O aplicadas (300 e 400 mg dm^{-3}), cujos decréscimos foram em média de 47 e 68%, respectivamente, aos 120 DAP para as doses de 200 e 400 mg dm^{-3} de N. Em função do aumento das doses de potássio e nitrogênio, inicialmente há aumento da população microbiana e maior demanda por nutrientes, havendo considerável imobilização/consumo do Cl^- disponível na solução do solo pelos microrganismos e pelas plantas.

Ao compararmos a parcela controle com o tratamento 0 mg dm^{-3} de K_2O aos 5 DAP, podemos observar que para a dose de 200 mg dm^{-3} de N não houve aumento do teor de Cl^- no solo. No entanto, com o incremento da dose de N para 400 mg dm^{-3} houve maior disponibilidade cloreto na solução do solo, o que reforça a teoria de que o NO_3^- produzido deslocou parte do Cl^- do complexo de troca, tendo em vista também a baixa CTC efetiva do solo estudado (1,8 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Assim, os resultados demonstram que o acúmulo de Cl^- ao longo do tempo decorrente da aplicação de elevadas doses de KCl no solo (indiferentemente das doses de N) quando comparada o controle, sem aplicação K_2O e N, pode afetar os processos químicos e biológicos do solo.

Em relação aos desdobramentos das interações K x N, o teor de Cl^- na solução do solo aumentou significativamente com o aumento das doses de K_2O ($p < 0,05$), conforme modelos das equações apresentados na Tabela 4 e os gráficos apresentado na Figura 4. Ao compararmos os tratamentos aplicados com a parcela controle, com exceção do tratamento com 0 mg dm^{-3} K_2O em ambas as doses de N, todos os tratamentos diferiram da parcela controle, ou seja, houve aumento no teor de Cl^- no solo com a aplicação de N e K.

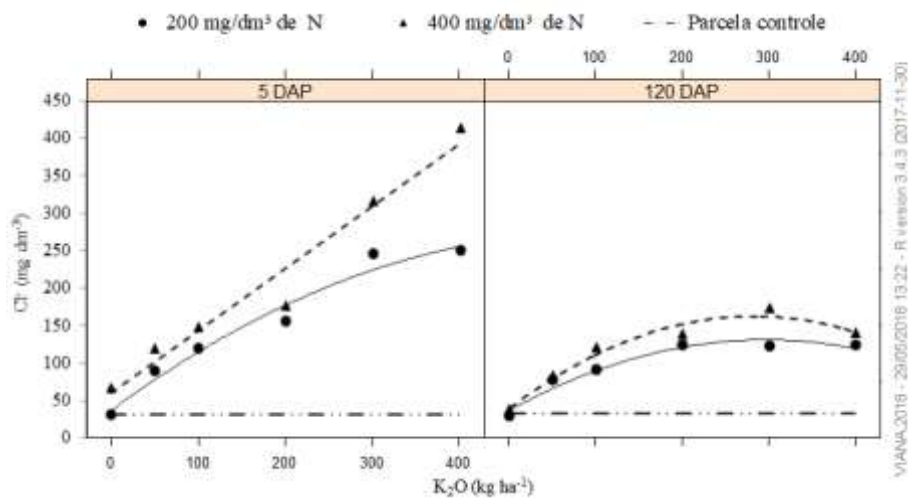


FIGURA 4. Teores de Cloreto (Cl⁻) da solução do solo cultivado com banana 'Prata Catarina' em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), 5 e 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017.

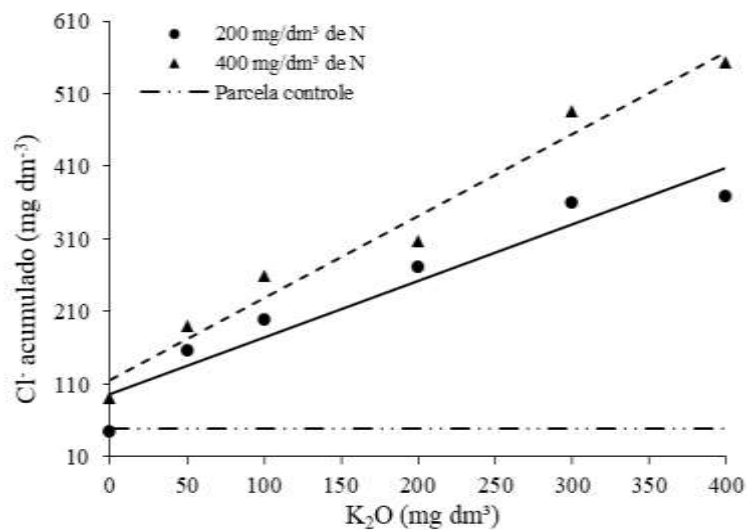


FIGURA 5. Teor de cloreto (Cl⁻) acumulado na solução do solo cultivado com banana 'Prata Catarina' em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), aos 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017.

Os resultados demonstram que ocorreu elevado acúmulo de Cl⁻ ao longo do tempo decorrente da aplicação de doses excessivas de KCl no solo (indiferentemente das doses de N) quando comparados a parcela controle e o

tratamento com 0 mg dm^{-3} de K_2O (Figura 5), o que pode acarretar distúrbios na planta e, conseqüentemente, afetar o desenvolvimento vegetativo da bananeira e os processos químicos e biológicos do solo, como a atividade microbiana (Figuras 6, 7 e 8).

Por meio da diagnose visual, foi possível constatar que ao longo do período avaliado houve agravamento da salinidade do solo no desenvolvimento da planta. Os sintomas mais relevantes foram o secamento, necrose e morte de parte das folhas mais velhas da banana e consequente morte das plantas, comprovando o efeito tóxico do acúmulo de sais no solo.

Lahav e Turner (1983) e Santos e Gheyi (1993) também observaram necrose e clorose marginais nas folhas da bananeira, sendo mais pronunciado nos tratamentos mais salinos. Corroborando essa afirmativa, Bethke e Drew (1992) avaliaram a resposta fotossintética do pimentão (*Capsicum annuum* L.) cultivado em solução nutritiva com alto índice salino e comprovaram que a capacidade fotossintética da cultura foi inversamente proporcional à concentração de Na^+ ou Cl^- na folha laminada amostrada no final do período experimental.

Foram constatadas interações significativas ($p < 0,05$) entre doses de $\text{K} \times \text{N}$ para o teor de carbono mineralizável (C-CO_2) liberado pela respiração microbiana do solo, em todas as épocas avaliadas, havendo decréscimo na atividade respiratória da microbiota do solo ao final do período de avaliação (Tabela 5).

De modo geral, as maiores emissões de CO_2 ocorreram nos tratamentos com ausência de adubação potássica (Controle e 0 mg dm^{-3} de K_2O em ambas doses de N) e, em todas as épocas avaliadas, para a dose 0 mg dm^{-3} de K_2O e considerando a dose de 200 mg dm^{-3} de N, estes foram os tratamentos que proporcionaram os maiores valores de CO_2 da respiração microbiana (Tabela 5).

TABELA 5. Carbono mineralizável (C-CO₂ em mg 100 cm³ de solo) liberado pela respiração da biomassa microbiana da solução do solo em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), aos 5, 30, 60, 90 e 120 dias após incubação e aplicação dos tratamentos (DAI). Janaúba/MG, 2017

DAI	CTL ¹	N ²	K ₂ O (mg dm ⁻³)				Equação	Regressão		Interação			
			0	50	100	200		300	400	R ²	CV%	F	CV%
5	66,9	200	**35,3a	**21,9a	**16,1a	**11,3b	**15,3a	**18,6a	$\hat{Y} = 32,52 - 0,182x + 0,00038x^2$	0,88***	14,16	4,5***	5,83
		400	**33,0b	**22,2a	**15,5a	**13,8a	**13,8a	**18,9a	$\hat{Y} = 30,88 - 0,16x + 0,000334x^2$	0,92***	10,29		
30	38,7	200	ns35,1a	**30,3a	**24,8a	**28,1b	**29,8a	**46,5a	$\hat{Y} = 35,04 - 0,123x + 0,000376x^2$	0,86***	8,81	21,6***	7,12
		400	**24,0b	**22,8b	**22,8a	ns35,0a	ns33,8a	**52,5a	$\hat{Y} = 23,36 - 0,0057x + 0,000187x^2$	0,89***	11,91		
60	51,7	200	ns55,0a	**42,5a	**36,8a	**32,1b	**35,8a	**39,9a	$\hat{Y} = 52,59 - 0,178x + 0,000375x^2$	0,90***	6,25	23,1***	4,10
		400	**45,1b	**44,0a	**38,6a	**36,6a	**34,3a	**33,3b	$\hat{Y} = 45,44 - 0,0618x + 0,000078x^2$	0,86***	4,89		
90	48,1	200	**56,3a	**45,9a	**41,6a	**39,2a	**38,7a	**43,1a	$\hat{Y} = 54,20 - 0,139x + 0,00028x^2$	0,92***	4,13	15,7***	3,66
		400	**45,1b	**38,9b	**37,2b	**30,3b	**25,4b	**27,9b	$\hat{Y} = 45,05 - 0,108x + 0,000161x^2$	0,93***	5,94		
120	39,7	200	**26,8a	**16,6a	**9,0a	**7,2b	**7,2b	**12,4a	$\hat{Y} = 24,94 - 0,165x + 0,0034x^2$	0,92***	15,33	19,9***	8,48
		400	**19,7b	**13,4b	**8,4 ^a	**9,0a	**8,9a	**10,8a	$\hat{Y} = 18,12 - 0,089x + 0,000182x^2$	0,80***	16,66		
ACM ³	245,5	200	**208,4a	**157,2a	**128,2a	**117,7b	**126,7a	**160,4a	$\hat{Y} = 199,31 - 0,788x + 0,00175x^2$	0,93***	5,96	33,5***	2,74
		400	**166,9b	**141,2b	**122,4b	**124,7a	**116,0b	**143,4b	$\hat{Y} = 162,57 - 0,426x + 0,00094x^2$	0,86***	5,31		

¹Tratamento adicional – controle; ²N em mg dm⁻³; ³Acumulado.

Valores seguidos por letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

***Significativo a 1% de probabilidade. ns: não significativo.

Valores antecedidos por * e **: significativos a 5% e 1%, respectivamente, pelo teste de Dunnett, na comparação da parcela controle com os tratamentos dentro de cada tempo de avaliação.

É válido ressaltar, que o controle (sem aplicação de K e N) foi o que proporcionou maior atividade microbiana em todos os tempos de avaliação, indicando que mesmo sob a aplicação das menores doses de K e N os microrganismos do solo não apresentaram respostas positivas.

Resultados semelhantes foram encontrados por Spohn *et al.* (2016), ao avaliarem o tempo de renovação da biomassa microbiana em solos de um experimento de fertilização a longo prazo em pastagem. Os autores constataram que a respiração microbiana foi 28 a 37% menor em todos os tratamentos contendo N (NxK, NxP e NxPxK) em comparação com o controle, uma vez que a fertilização nitrogenada não apenas diminuiu a respiração microbiana, mas também a absorção microbiana de C, indicando que menos C foi processado intracelularmente nos solos fertilizados com N.

Em relação aos desdobramentos das interações K x N, o carbono mineralizável (C-CO₂) foi influenciado pelo aumento das doses de K₂O aplicadas ($p < 0,05$), conforme modelos de equações quadráticas apresentados na Tabela 5. Com exceção dos 30 DAI foi observada queda na atividade microbiana do solo com o aumento das doses de K₂O, mais especificamente aos 5, 60, 90 e 120 DAI (Figura 6).

Os valores de C-CO₂ encontrados para a parcela controle, fica evidente que a aplicação de potássio associada à adubação nitrogenada diminuiu significativamente a respiração microbiana no solo. Os valores iniciais (5 DAI) variaram de 66,9 mg 100 cm³ de solo para o controle a 11,3 mg 100 cm³ de solo para o tratamento 200 mg de K₂O + 200 mg de N (Tabela 5).

Por meio da Figura 6 é possível constatar que aos 30, 60 e 90 DAI houve aumento na atividade microbiana, possivelmente devido a capacidade adaptativa da microbiota do solo (resiliência). No entanto, após 120 DAI constatou-se queda, em função da toxidez ocasionada pela absorção excessiva de sais disponíveis na solução do solo. Esses resultados demonstram o efeito biocida do excesso de cloro e amônio no solo na biomassa microbiana. A atividade microbiana apresentou oscilação ao longo

do tempo, o que pode ser explicado em função da biomassa ainda estar se adaptando às condições impostas.

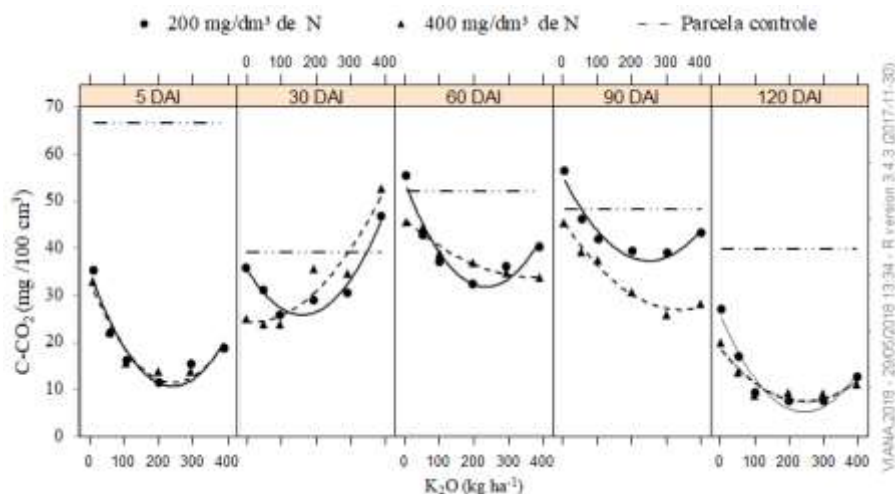


FIGURA 6. Carbono mineralizável (C-CO₂) da solução do solo em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), aos 5, 30, 60, 90 e 120 dias após incubação e aplicação dos tratamentos (DAI). Janaúba/MG, 2017.

Vieira-Megda *et al.* (2014) afirmaram que a microbiota do solo torna-se resiliente a determinada condição que inicialmente desempenhava efeito negativo, este fato refere-se a capacidade dos microrganismos se adaptarem as condições do meio, demonstrada pelo aumento da respiração microbiana a partir dos 30 DAI. Desse modo, a respirometria se mostrou eficaz para detectar a queda da atividade microbiana na presença de fatores estressantes, como elevadas concentrações de sais oriundos da aplicação de doses excessivas de cloreto de potássio e sulfato de amônio.

A redução da atividade microbiana pelo Cl⁻ também foi verificada em estudo realizado por Viera-Megda *et al.* (2014), ficando comprovado que elevadas doses de fertilizantes clorados (KCl e NH₄Cl) são capazes de provocar a morte celular de grande parte da biomassa microbiana.

Resultados semelhantes também foram encontrados por Costa e Campos (2015), ao avaliarem a resposta da técnica de respirometria na identificação da toxicidade dos microrganismos nitrificantes em

concentrações salinas. Os autores constataram que a elevada concentração do Cl^- apresentou-se inibidora para a atividade de grupos bacterianos oxidantes de amônio e nitrito.

Foram constatadas interações significativas ($p < 0,05$) entre doses de K x N para o teor de carbono orgânico total do solo - COT (Tabela 6) e C da biomassa microbiana do solo - BMS (Tabela 7) nos dois períodos avaliados. Aos 5 DAP as doses de potássio que proporcionaram os maiores teores de COT foram de 260 e 233 mg dm^{-3} de K_2O (pontos de máxima) para os tratamentos 200 e 400 mg dm^{-3} de N, respectivamente, havendo queda a partir dessas doses (Figura 7).

Aos 120 DAP à medida que se aumentou a dose de K_2O houve queda (linear) nos teores de COT do solo, independente da dose de N aplicada. Os valores encontrados foram de 1,75 dag dm^{-3} no tratamento com 0 mg dm^{-3} de K_2O para 0,25 dag dm^{-3} no tratamento com 400 mg dm^{-3} de K_2O , com aplicação de 200 mg dm^{-3} de N; e queda de 1,83 dag dm^{-3} para 0,58 dag dm^{-3} nos tratamentos de 0 e 400 mg dm^{-3} de K_2O , respectivamente, associados a 400 mg dm^{-3} de N.

Vale ressaltar que aos 120 DAP a parcela controle e a dose 0 mg dm^{-3} de K_2O em ambas doses de N (200 e 400 mg dm^{-3}) foram os tratamentos que apresentaram os maiores teores de COT (Tabela 6). A redução no COT aos 120 DAP com o aumento das doses de potássio infere aumento da mineralização da MOS, no entanto, vale ressaltar que decorridos 120 dias o solo apresentou menor CE e menores teores de N-NH_4^+ e Cl^- (Figuras 1, 2 e 4), o que promoveu redução da atividade microbiana e do C da BMS (Figuras 6 e 8). A menor atividade e biomassa microbiana do solo possivelmente se deram em função da morte dos microrganismos com possível liberação do material celular e aumento na liberação de CO_2 , causando conseqüentemente redução no COT (Figura 7).

TABELA 6. Carbono orgânico total do solo(COT em dag dm⁻³) da solução do solo cultivado com bananeira ‘Prata Catarina’ em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), 5 e 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017

DAP	CTL ¹	N ²	K ₂ O (mg dm ⁻³)						Equação	Regressão		Interação	
			0	50	100	200	300	400		R ²	CV%	F	CV%
5	0,73	200	**0,36b	ns0,81a	**1,18a	**1,90a	**1,62a	**1,42a	$\hat{Y} = 0,33 + 0,0113x - 0,0000218x^2$	0,92***	13,0	25,5***	8,8
		400	ns0,62a	ns0,91a	**1,07b	**1,25b	**1,26b	ns0,94b	$\hat{Y} = 0,62 + 0,0056x - 0,000012x^2$	0,92***	6,27		
120	1,85	200	ns1,75a	**1,57a	**1,36a	**1,05a	**0,61a	**0,25b	$\hat{Y} = 1,74 - 0,03547x$	0,99***	3,86	34,1***	4,7
		400	ns1,83a	**1,62a	**1,18b	**0,76b	**0,66a	**0,58a	$\hat{Y} = 1,87 - 0,0074x + 0,0000105x^2$	0,97***	7,68		

¹Tratamento adicional – controle; ²N em mg dm⁻³.

Valores seguidos por letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

***Significativo a 1% de probabilidade. ns: não significativo.

Valores antecidos por * e **: significativos a 5 % e 1%, respectivamente, pelo teste de Dunnett, na comparação da parcela controle com os tratamentos dentro de cada tempo de avaliação.

Com relação ao carbono da biomassa microbiana (BMS) houve decréscimo nos teores encontrados no solo quando do aumento das doses de K_2O (Tabela 7 e Figura 8). Os valores encontrados foram de $2,04 \text{ mg g}^{-1}$ de C no tratamento com 0 mg dm^{-3} de K_2O para $0,81 \text{ mg g}^{-1}$ de C no tratamento com 400 mg dm^{-3} de K_2O quando em combinação com a dose de 200 mg dm^{-3} de N e queda de $1,27 \text{ mg g}^{-1}$ de C para $0,24 \text{ mg g}^{-1}$ de C no tratamento com 400 mg dm^{-3} de N.

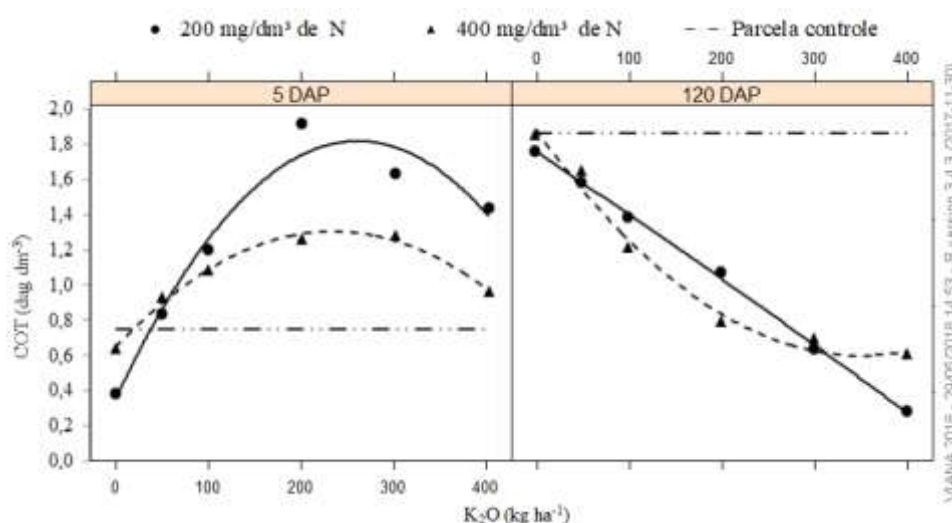


FIGURA 7. Carbono orgânico total (COT em dag dm^{-3}) da solução do solo cultivado com bananeira 'Prata Catarina' em função da aplicação de doses de potássio (K_2O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ($(NH_4)_2SO_4$), 5 e 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017.

Verifica-se, portanto, que os maiores teores observados foram nas parcelas que receberam apenas N, possivelmente por causa do efeito biocida do Cl^- , devido as elevadas concentrações no solo, causando supressão do crescimento da biomassa microbiana. Os dados aqui apresentados reforçam os encontrados para CO_2 mineralizável apresentados na Figura 6.

TABELA 7. Carbono da biomassa microbiana (BMS em mg g⁻¹ de C), Quociente microbiano (*q*BMS em C-CO₂ mg⁻¹ Cmic dia⁻¹), Taxa respiratória (TR em mg g⁻¹ solo dia⁻¹) e Quociente metabólico (*q*CO₂ em mg C-CO₂ mg⁻¹ Cmic dia⁻¹) da solução do solo cultivado com bananeira ‘Prata Catarina’ em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), aos 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017

Variáveis	CTL ¹	N ²	K ₂ O (mg dm ⁻³)						Equação	Regressão		Interação	
			0	50	100	200	300	400		R ²	CV%	F	CV%
BMS	1,51	200	**2,04a	**1,69a	**1,28a	**0,84b	**0,67b	**0,81a	$\hat{Y} = 2,06 - 0,0091x + 0,000015x^2$	0,97***	6,51	61,2***	7,2
		400	**1,27b	**1,16b	ns1,40a	**1,05a	**0,81a	**0,24b	$\hat{Y} = 1,23 + 0,013x - 0,0000094x^2$	0,92***	11,31		
<i>q</i> BMS	0,82	200	**1,17a	*1,08a	ns0,93b	ns0,80b	**1,10a	**3,20a	$\hat{Y} = 1,39 - 0,01x + 0,0000367x^2$	0,91***	18,85	181,5***	8,9
		400	ns0,69b	ns0,71b	**1,19a	**1,39a	**1,23a	**0,42b	$\hat{Y} = 0,55 + 0,0084x - 0,000022x^2$	0,82***	17,48		
TR	2,04	200	**1,74a	1,31a	**1,07a	**0,98b	**1,06a	**1,34a	$\hat{Y} = 1,65 - 0,064x + 0,000014x^2$	0,92***	6,11	15,0***	4,0
		400	**1,39b	**1,18b	**1,02b	**1,04a	**0,97b	**1,19b	$\hat{Y} = 1,36 - 0,035x + 0,0000076x^2$	0,81***	6,23		
<i>q</i> CO ₂	1,36	200	ns0,85b	ns0,78b	ns0,84a	ns1,18a	ns1,58a	ns1,65b	$\hat{Y} = 0,75 + 0,0018x$	0,89***	11,20	32,9***	25,1
		400	ns1,10a	ns1,02a	ns0,73b	ns0,99b	ns1,20b	**4,89a	$\hat{Y} = 1,45 - 0,016x + 0,000061x^2$	0,84***	39,99		

¹Tratamento adicional – controle; ²N em mg dm⁻³.

Valores seguidos por letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

***Significativo a 1% de probabilidade. ns: não significativo.

Valores antecedidos por * e **: significativos a 5 % e 1%, respectivamente, pelo teste de Dunnett, na comparação da parcela controle com os tratamentos dentro de cada tempo de avaliação.

De acordo com Kaiser *et al.* (1995), a matéria orgânica do solo é utilizada como critério na avaliação da sustentabilidade agrícola, pois representa o principal reservatório de energia para os microrganismos e de nutrientes para as plantas. Sparling (1992) afirmou que pode-se monitorar a dinâmica da matéria orgânica do solo usando-se a relação carbono microbiano (BMS) e carbono orgânico (C Total).

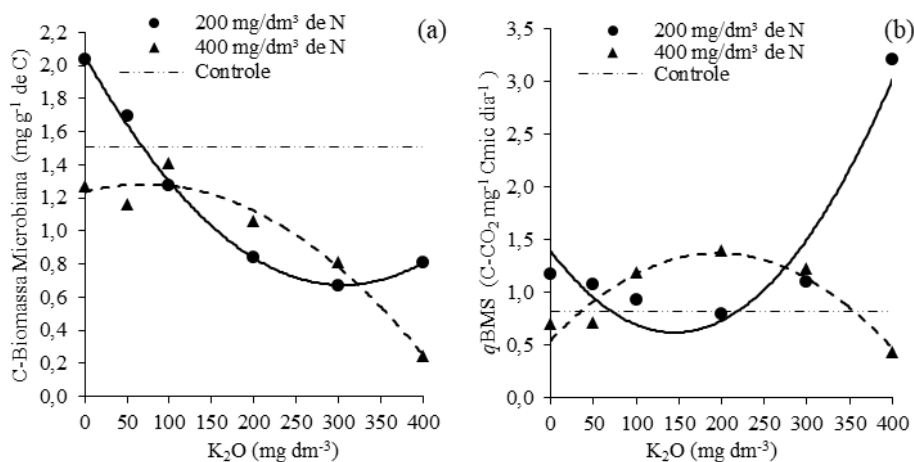


FIGURA 8. (a) Carbono da biomassa microbiana (BMS em mg g⁻¹ de C) e (b) quociente microbiano ($qBMS$ em C-CO₂ mg⁻¹ Cmic dia⁻¹) da solução do solo cultivado com bananeira ‘Prata Catarina’ em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), aos 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017.

Perez *et al.* (2004), ao quantificar o carbono da biomassa microbiana de solo cultivado com soja (*Glycine max*) em sistemas de manejo, encontraram correlação linear positiva e altamente significativa entre o C da biomassa microbiana e o C orgânico nos solos estudados. Wardle (1994) e De Luca (1998), citaram que a biomassa microbiana constitui a maior parte da fração ativa da matéria orgânica e, segundo Gama-Rodrigues (1999), esta fração é mais sensível às variações sazonais (de umidade, temperatura, manejo do solo, cultivo e, presença de resíduos vegetais) do que o resultado quantitativo de C orgânico e N para aferir alterações na matéria orgânica causadas pelo manejo do solo e pelas práticas de cultivo.

O $qBMS$, índice que expressa o quanto do carbono orgânico do solo foi imobilizado pela biomassa microbiana, aumentou com o incremento de K_2O no solo para a dose de 200 mg dm^{-3} de N (Figura 8b). Considerando a dose de 400 mg dm^{-3} de N, observou-se efeito quadrático, onde a partir da dose de 195 mg dm^{-3} de K_2O houve queda na assimilação do carbono, possivelmente pela salinidade proporcionada pelos elevados teores de Cl^- associados aos altos teores de $N-NH_4^+$ na solução do solo. Para a maior dose de N (400 mg dm^{-3}) os valores variaram entre 1,39 a $0,42 \text{ mg C-CO}_2 \text{ mg}^{-1} \text{ Cmic dia}^{-1}$ para a dose de 200 e 400 mg dm^{-3} de K_2O , respectivamente (Tabela 7).

De acordo com Cardoso *et al.* (2009), o carbono microbiano é o atributo mais sensível às alterações no solo. Em pesquisa realizada por esses autores, eles concluíram que a conversão da floresta nativa em pastagem cultivada promoveu reduções de 22 a 32% no quociente microbiano, sendo o efeito negativo agravado pelo tempo de cultivo.

Assim, o carbono da biomassa microbiana é um importante componente na avaliação da qualidade do solo, pois está diretamente relacionado aos processos de decomposição, interagindo na dinâmica dos nutrientes e regeneração da estabilidade dos agregados, exibindo forte correlação com a matéria orgânica do solo (ANDERSON e DOMSCH, 1993; FRANZLUEBBERS *et al.*, 1999).

A taxa respiratória (TR) do solo é a quantificação da produção de CO_2 resultante da atividade metabólica dos organismos e geralmente é desejável uma taxa respiratória mais elevada, porém, de acordo com acordo Islam e Weil (2000) esta deve ser analisada dentro de cada contexto. A taxa de respiração microbiana pode indicar tanto distúrbio como alto nível de produtividade do ecossistema. Visto isso, outras avaliações, portanto, podem contribuir para fornecer subsídios relevantes sobre as respostas do sistema solo à estresses ou perturbações, como o quociente metabólico.

Em relação a TR, de forma geral, verificou-se queda com o aumento das doses de K_2O para ambas as doses de N e, apesar de pequeno aumento

na maior dose de potássio aplicada; ao se comparar os valores encontrados no controle ($2,04 \text{ mg g}^{-1} \text{ solo dia}^{-1}$) e 0 mg dm^{-3} de K_2O ($1,74$ e $1,39 \text{ mg g}^{-1} \text{ solo dia}^{-1}$, para 200 e 400 mg dm^{-3} de N, respectivamente) com os tratamentos submetidos à adubação potássica, estes últimos foram inferiores (Tabela 7 e Figura 9a). É válido destacar, que os resultados apresentados para TR reforçam os encontrados para CO_2 mineralizável (Figura 6) e C da Biomassa microbiana (Figura 8).

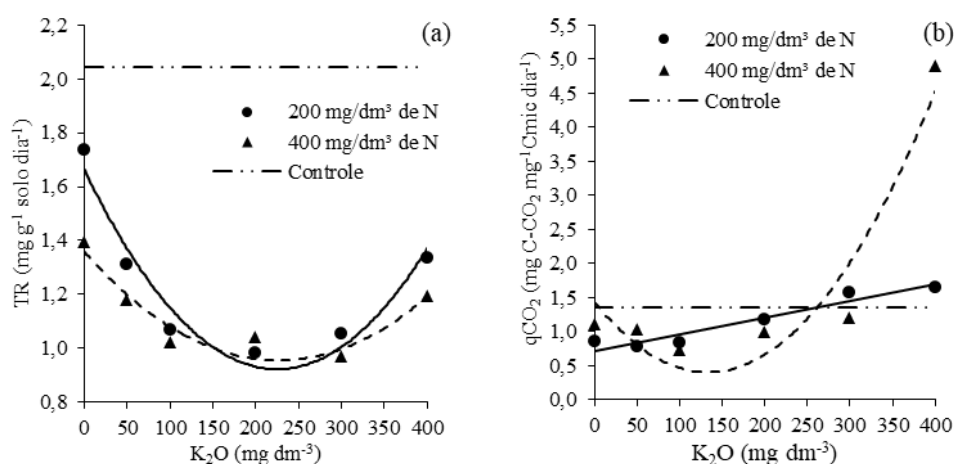


FIGURA 9. (a) Taxa respiratória (TR) e (b) quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) dos microrganismos da solução do solo cultivado com bananeira 'Prata Catarina' em função da aplicação de doses de potássio (K_2O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), aos 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017.

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), proposto por Anderson e Domsch (1993) também é utilizado como indicador de qualidade do solo. Este índice indica que, à medida que a biomassa microbiana se torna eficiente em utilizar as fontes de energia disponíveis, menor quantidade de carbono é perdida como CO_2 pela respiração, sendo este imobilizado no tecido microbiano. Assim, menor $q\text{CO}_2$ representa uma biomassa microbiana mais estável, ou ambiente com menor distúrbio.

O $q\text{CO}_2$ aumentou com o incremento das doses de K_2O e N (Figura 6; Figura 9b), possivelmente devido ao estresse causado pelos fatores citados

anteriormente, especialmente a salinidade proporcionada pelos elevados teores de Cl^- e N-NH_4^+ , indicando maior distúrbio do ambiente. Valores muito elevados de $q\text{CO}_2$ foram encontrados nas condições mais estressantes, nas quais a biomassa microbiana do solo gasta mais C para sua manutenção (Tabela 7).

Por meio da Figura 9b, pode-se observar acréscimo expressivo do quociente metabólico para as doses mais elevadas de K_2O . Os valores variaram entre $0,85 \text{ mg C-CO}_2 \text{ mg}^{-1}\text{Cmic dia}^{-1}$ para o tratamento com dose 0 mg dm^{-3} de K_2O a $1,65 \text{ mg C-CO}_2 \text{ mg}^{-1}\text{Cmic dia}^{-1}$ no tratamento submetido a 400 mg dm^{-3} de K_2O e $1,1 \text{ mg C-CO}_2 \text{ mg}^{-1}\text{Cmic dia}^{-1}$ para a dose 0 mg dm^{-3} de K_2O a $4,89 \text{ mg C-CO}_2 \text{ mg}^{-1}\text{Cmic dia}^{-1}$ no tratamento com 400 mg dm^{-3} de K_2O , para a dose de 200 e 400 mg dm^{-3} de N, respectivamente.

De acordo com Alves *et al.* (2011) e Souza *et al.* (2010), a taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana ($q\text{CO}_2$), é uma opção viável para o entendimento das interações que ocorrem na matéria orgânica do solo. Uma vez que, a população microbiana em condições adversas ou estressantes exibem elevados valores de $q\text{CO}_2$, portanto, está oxidando carbono de suas próprias células para a sua manutenção e adaptação às condições do solo.

No que diz respeito as variáveis biométricas observou-se significância para a interação K x N ($p < 0,05$), aos 120 DAP (Tabela 8). De forma geral, a menor dose de N (200 mg dm^{-3}) foi a que proporcionou os maiores valores médios de altura de pseudocaulo (AP), peso fresco da parte aérea (PFPA), peso fresco de raiz (PFR), peso seco de raiz (PSR) e volume de raiz (VL); enquanto a maior dose de N (400 mg dm^{-3}) foi a que levou às maiores concentrações de cloreto na parte aérea (CLPA) da planta.

TABELA 8. Valores de altura de pseudocaule (AP em cm), diâmetro de pseudocaule (DP em mm), comprimento foliar (CP em cm), Largura foliar (LF em cm), peso fresco da parte aérea (PFPA em g), peso fresco de raiz (PFR em g), peso seco de parte aérea (PSPA em g), peso seco de raiz (PSR em g), volume de raiz (VR em cm³), número de folhas vivas (NF em un) e teor de cloreto da parte aérea (CLPA em dag kg⁻¹) da bananeira ‘Prata Catarina’ em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), aos 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017

Variáveis	CTL ¹	N ²	K ₂ O (mg dm ⁻³)					Equação	Regressão		Interação		
			0	50	100	200	300		400	R ²	CV%	F	CV%
AP (cm)	52,4	200	**78,2a	**75,3a	**70,1a	**67,2b	**66,5b	**74,4a	$\hat{Y} = 79,03 - 0,111x + 0,00024x^2$	0,82***	2,95	34,5***	4,4
		400	ns56,2b	**63,6b	**68,3a	**77,6a	**76,6a	**70,2a	$\hat{Y} = 55,78 + 0,17x - 0,00034x^2$	0,83***	5,18		
DP (mm)	20,8	200	**26,1a	**27,0a	**29,0a	**29,3a	**26,1a	ns24,0a	$\hat{Y} = 26,15 + 0,0323x - 0,000097x^2$	0,60***	5,62	4,8***	6,0
		400	ns20,9b	**25,5a	**27,2a	**28,3a	**27,3a	**25,5a	$\hat{Y} = 21,86 + 0,059x - 0,00012x^2$	0,66***	6,82		
CF (cm)	24,1	200	**31,7a	**32,0a	**33,1a	**33,7b	**34,0a	**35,9a	$\hat{Y} = 31,69 + 0,0096x$	0,94***	5,13	4,2***	4,3
		400	**29,7a	**32,3a	**33,8a	**37,5a	**35,5a	**34,2a	$\hat{Y} = 29,67 + 0,0578x - 0,000118x^2$	0,71***	4,72		
LF (cm)	11,9	200	**18,9a	**18,2a	**17,9a	**16,8b	**17,0b	**18,5a	$\hat{Y} = 19,11 - 0,0202x + 0,0000458x^2$	0,71***	2,87	11,0***	4,9
		400	**15,4b	**17,5a	**17,8a	**19,1a	**18,4a	**17,2a	$\hat{Y} = 15,72 + 0,029x - 0,000064x^2$	0,54***	6,17		
PFPA (g)	90,1	200	**225,0a	**205,8a	**169,6a	**164,6a	**162,0b	**177,6a	$\hat{Y} = 223,87 - 0,527x + 0,00104x^2$	0,81***	6,35	22,0***	9,9
		400	ns94,3b	**142,3b	**147,7a	**161,2a	**188,9a	**177,0a	$\hat{Y} = 103,93 + 0,505x - 0,0008x^2$	0,66**	14,43		
PFR (g)	107,6	200	**88,2a	**92,5a	**96,8a	**95,0a	**84,7a	**78,2a	$\hat{Y} = 89,39 + 0,0787x - 0,000277x^2$	0,78***	3,85	17,6***	4,8
		400	**76,8b	**67,5b	**67,5b	**55,8b	**45,9b	**43,0b	$\hat{Y} = 74,35 - 0,0853x$	0,90***	7,11		
PSPA (g)	14,3	200	**25,4a	**23,2a	**22,5a	**20,9a	**20,6a	**21,4a	$\hat{Y} = 25,15 - 0,0335x + 0,000061x^2$	0,74***	4,55	10,3***	4,9
		400	**18,8b	**19,1a	**20,5b	**21,0a	**19,1b	**17,4b	$\hat{Y} = 18,62 + 0,0229x - 0,0000659x^2$	0,58***	5,19		
PSR (g)	13,8	200	**4,0a	**6,9a	**11,4a	ns12,5a	**10,0a	**6,4a	$\hat{Y} = 4,16 + 0,0781x - 0,000184x^2$	0,87***	13,68	11,6***	10,5
		400	**4,2a	**6,2a	**8,2b	**8,4b	**5,7b	**4,0b	$\hat{Y} = 4,60 + 0,0378x - 0,000101x^2$	0,78***	14,58		
VR (cm ³)	141,6	200	**117,0a	**105,0a	**83,3a	**76,9a	**90,0a	**103,3a	$\hat{Y} = 116,63 - 0,354x + 0,000819x^2$	0,62***	11,35	8,6***	9,3
		400	**66,6b	**66,7b	**71,7a	**67,3a	**64,4b	**53,3b	$\hat{Y} = 66,04 + 0,0586x - 0,000224x^2$	0,50***	8,94		

...Continua...

TABELA 8. Continuação...

NF (un)	3,7	200	^{ns} 4,7a	^{ns} 4,5a	^{ns} 3,9a	^{ns} 3,4b	^{ns} 3,3a	^{ns} 3,0a	$\hat{Y} = 4,53 - 0,0042x$	0,90 ^{***}	18,23	4,5 ^{***}	16,8
		400	^{ns} 3,0b	^{ns} 3,3b	^{ns} 4,0a	^{ns} 4,0a	^{ns} 3,7a	^{ns} 3,3a	$\hat{Y} = 3,43 + 0,0915x - 0,0000216x^2$	0,38 ^{***}	12,99		
CLPA (dag kg ⁻¹)	0,76	200	^{ns} 0,57a	*1,55b	**3,40a	**4,33a	**3,67b	**4,67b	$\hat{Y} = 0,73 + 0,024x - 0,000038x^2$	0,86 ^{***}	19,54	16,4 ^{***}	9,9
		400	^{ns} 0,99a	**2,33a	**3,20a	**4,60a	**5,06a	**5,60a	$\hat{Y} = 1,13 + 0,023x - 0,0000303x^2$	0,95 ^{***}	10,58		

¹Tratamento adicional – controle; ²N em mg dm⁻³.

Valores seguidos por letras minúsculas iguais na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

***Significativo a 1% de probabilidade. ** Significativo a 5% de probabilidade. ns: não significativo.

Valores antecidos por * e **: significativos a 5 % e 1%, respectivamente, pelo teste de Dunnett, na comparação da parcela controle com os tratamentos dentro de cada tempo de avaliação.

A altura de pseudocaule (AP) foi influenciada pelas doses de K_2O e se ajustaram ao modelo quadrático de regressão (Tabela 8 e Figura 10a), a altura média de pseudocaule foi maior no tratamento com aplicação de 0 mg dm^{-3} de K_2O + 200 mg dm^{-3} de N ($78,2 \text{ cm}$), já para a dose de 400 mg dm^{-3} de N, a maior altura foi obtida com a aplicação de 200 mg dm^{-3} de K_2O ($77,6 \text{ cm}$).

Para o diâmetro do pseudocaule (DP), as respostas às doses de potássio foram representadas por modelo quadrático de regressão (Tabela 8 e Figura 10b). O diâmetro médio do pseudocaule foi maior na dose 200 mg dm^{-3} de K_2O para ambas as doses de N; $29,3$ e $28,3 \text{ mm}$ para as doses 200 e 400 mg dm^{-3} de N, respectivamente.

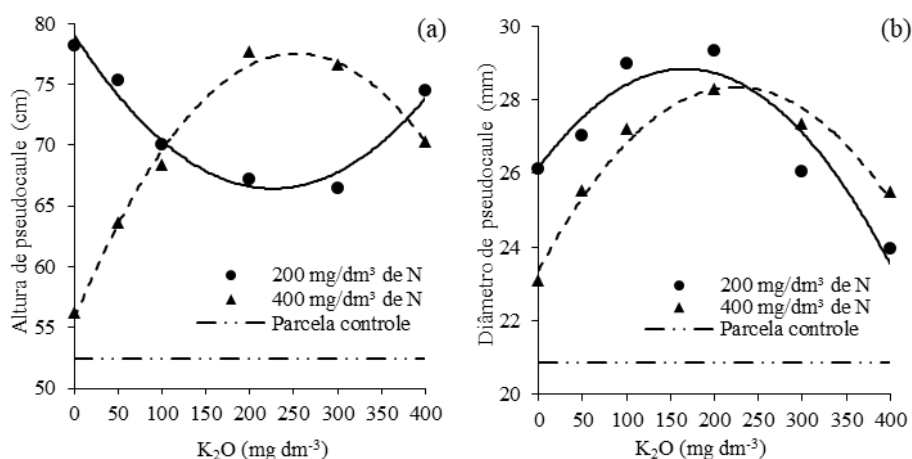


FIGURA 10. (a) Altura de planta (AP) e (b) diâmetro do pseudocaule (DP) da bananeira ‘Prata Catarina’ em função da aplicação de doses de potássio (K_2O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ($(NH_4)_2SO_4$), aos 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017.

Considerando a dose de 200 mg dm^{-3} de N o ponto de máxima foi para a dose de $166,3 \text{ mg dm}^{-3}$ de K_2O ($28,84 \text{ mm}$); já para a dose de 400 mg dm^{-3} de N, o ponto de máxima foi ocorreu com a dose de $230,62 \text{ mg dm}^{-3}$ de K_2O ($28,74 \text{ mm}$). Os resultados demonstram que houve maior diâmetro de pseudocaule para doses equivalentes a 200 mg dm^{-3} de K_2O , portanto, a que

proporcionou melhor desempenho, ocorrendo decréscimo a partir dessa dose (Figura 10b). Os resultados demonstraram que o aumento na dose de N demandou mais K, em função da interação positiva entre esses dois nutrientes. Cabe destacar que o controle proporcionou menores valores de altura e diâmetro do pseudocaule (Tabela 8).

Resultados semelhantes foram encontrados por Araújo Filho *et al.* (1995), Santos (1990), Carmo *et al.* (2003) e Teixeira *et al.* (2014), ao avaliarem o efeito salino no desenvolvimento inicial da bananeira, no qual à medida que se elevou a condutividade elétrica houve redução significativa no diâmetro do pseudocaule. Os mesmos autores também observaram efeito negativo da aplicação de sais sobre o parâmetro altura de planta, comprimento e largura de folha.

O aumento das doses de potássio promoveram respostas diferenciadas em função da dose de N aplicada para o comprimento foliar (Figura 11a) e para largura foliar (Figura 11b). Considerando a dose de 200 mg dm⁻³ de N, com o aumento das doses de potássio houve aumento linear no comprimento foliar, sendo o maior valor observado no tratamento com 400 mg dm⁻³ de K₂O (35,9 cm). Para a dose de 400 mg dm⁻³ de N, a resposta ao aumento de potássio seguiu modelo quadrático, obtendo ponto de máxima na dose de 244,5 mg dm⁻³ de K₂O (36,74 cm) (Figura 11a).

O efeito quadrático para a variável comprimento da folha na dose de 400 mg dm⁻³ de N, pode indicar efeito tóxico para doses acima de 200 mg dm⁻³ de K₂O devido aos elevados teores de NH₄⁺ e Cl⁻ disponíveis na solução do solo (Tabelas 3 e 4).

Ao que se refere a largura média do limbo foliar para a dose de 200 mg dm⁻³ de N houve queda (Figura 11b), sendo maior para o tratamento sem aplicação de K₂O (0 mg dm⁻³ de K₂O - 18,9 cm). Para a dose de 400 mg dm⁻³ de N a resposta ao aumento da dose de K₂O foi representada por modelo quadrático de regressão, tendo ponto de máxima na dose de 226,45 mg dm⁻³ de K₂O (19,0 cm). Para as duas variáveis estudadas (CF e LF), o controle apresentou menores valores médios (Tabela 8), reforçando a importância da

aplicação de K e N em doses adequadas no desenvolvimento do aparato fotossintético das plantas.

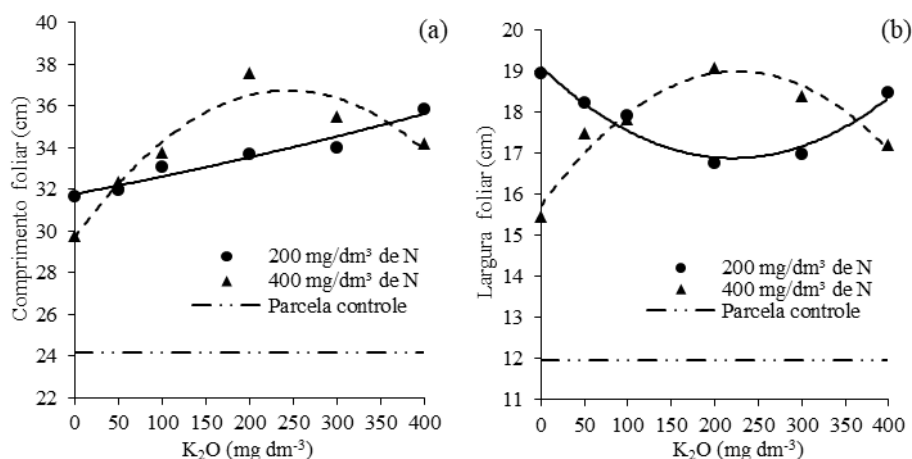


FIGURA 11. (a) Comprimento foliar (CF) e (b) Largura foliar (LF) da bananeira ‘Prata Catarina’ em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), aos 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017.

A redução no crescimento das plantas e produtividade das culturas quando submetidas ao estresse salino tem sido verificada em diversos trabalhos. Este comportamento é atribuído à redução no potencial hídrico da solução do solo gerado pelo excesso de íons, como verificado por Gondim *et al.* (2002), dificultando a absorção de água pelas raízes das plantas de banana. Como a água é um dos fatores essenciais para a expansão celular, sua limitação implica em menor crescimento de células e tecidos, também menor incremento em altura da planta, número de folhas e área foliar da bananeira (CARMO *et al.*, 2003) e, conseqüentemente, menor produtividade.

O efeito das elevadas doses de cloreto de potássio sobre as raízes das plantas foi observado neste estudo apesar da dificuldade de separação das raízes da terra, pois houve ocorrência de um grande número de raízes mortas, principalmente nos vasos que receberam as doses mais altas de K e N. Isto pode ser explicado pela elevada pressão osmótica desencadeada na

solução do solo, inibindo o desenvolvimento do sistema radicular, limitando a capacidade da planta de absorver água e nutrientes (JACOBS e TIMMER, 2005).

Para as variáveis peso fresco da parte aérea (PFPA) e de raiz (PFR), as respostas às doses de K_2O e N foram diferenciadas (Tabela 8 e Figura 12). Considerando a dose de 200 mg dm^{-3} de N, o PFPA foi maior na ausência da adubação potássica (225 g), decrescendo com o aumento da dose de K_2O (Figura 12a). O aumento do PFPA para a dose de 400 mg dm^{-3} de N em função das doses de K_2O indica a interação positiva entre estes dois nutrientes, sendo que a maior absorção de N demanda maior necessidade de K. Observou-se aumento até a dose de 300 mg dm^{-3} de K_2O , havendo efeito tóxico a partir dessa dose.

Ao que se refere ao peso fresco de raiz (PFR), os maiores valores foram observados para a dose de 200 mg dm^{-3} de N (Tabela 8 e Figura 12b); a resposta foi representada por modelo quadrático de regressão e foi maior na dose de 100 mg dm^{-3} de K_2O (96,8 g). Para a dose de 400 mg dm^{-3} de N, houve queda linear no PFR, sendo maior no tratamento sem aplicação de K_2O (0 mg dm^{-3} de K_2O – 76,8 g). É válido destacar que o controle foi o que proporcionou maior produção de raízes (107,6 g) quando comparado aos tratamentos submetidos à adubação potássica e, ou nitrogenada (Tabela 8 e Figura 12b).

A redução no crescimento inicial da bananeira verificada no presente estudo foi observada em outros estudos (SANTOS e GHEYI, 1993; ARAÚJO FILHO *et al.*, 1995; MELONI *et al.*, 2001; PEREIRA *et al.*, 2004; MONTE *et al.*, 2004), podendo ser atribuída aos efeitos osmóticos, tóxicos e nutricionais causados pelo excesso de sais, em especial o Cl^- e $N-NH_4^+$ acumulados na solução do solo (Figura 5).

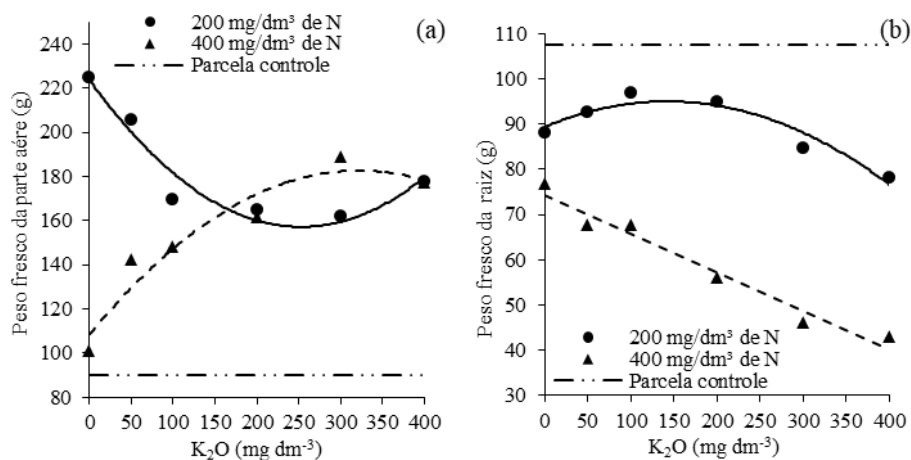


FIGURA 12. (a) Peso fresco da parte aérea (PFPA) e (b) peso fresco de raiz (PFR) da bananeira 'Prata Catarina' em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), aos 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017.

Para peso seco da parte aérea (PSPA) e de raiz (PSR) as respostas ao aumento das doses de K₂O seguiram modelo quadrático de regressão (Tabela 8 e Figura 13). Considerando-se a dose de 200 mg dm⁻³ de N, o PSPA (Figura 13a) foi maior (25,4 g) no tratamento sem aplicação de K₂O (0 mg dm⁻³ de K₂O). Na dose de 400 mg dm⁻³ de N apesar do pequeno incremento com o aumento da dose de potássio, houve queda a partir da aplicação de 300 mg dm⁻³ de K₂O (19,1 g). O PSPA encontrado para o controle foi inferior a todos os tratamentos estudados, apresentando média de 14,3 gramas para esta variável (Tabela 8 e Figura 13a).

Em relação ao peso seco de raízes (PSR), este apresentou respostas quadráticas ao aumento das doses de K₂O aplicadas (para ambas as doses de N estudadas) (p<0,05), conforme modelos das equações apresentados na Tabela 8 e Figura 13b. O maior valor encontrado foi para a dose de 200 mg dm⁻³ de K₂O associada a 200 mg dm⁻³ de N (12,5 g) ou 400 mg dm⁻³ de N (8,4 g), sendo a dose 200 N a que proporcionou os maiores peso secos de raiz. No entanto, apesar dos aumentos observados, o controle resultou em maior produção de massa seca de raízes (13,8 g), diferindo dos demais

tratamentos (Tabela 8 e Figura 13b). Observa-se, portanto, que o efeito tóxico da aplicação de doses elevadas de KCl e $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ são mais pronunciados e, se manifestam principalmente, no sistema radicular das plantas (Figuras 12b, 13b e 14b).

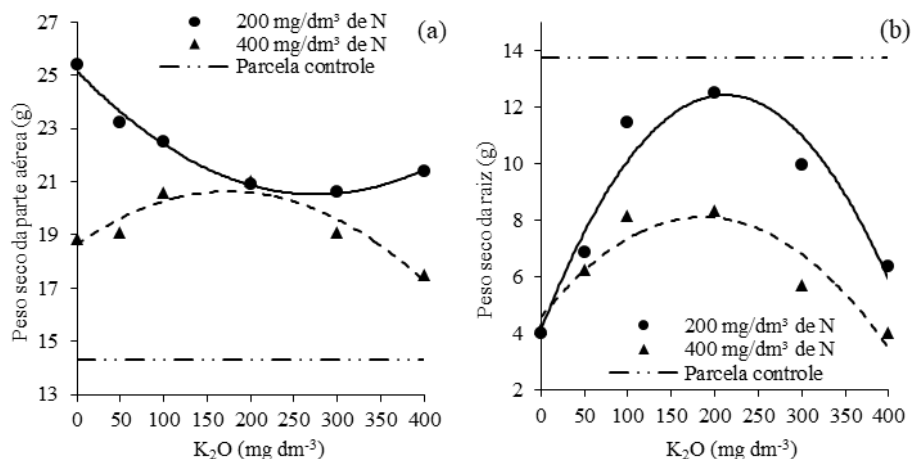


FIGURA 13. (a) Peso seco da parte aérea (PSPA) e (b) Peso seco de raiz (PSR) da bananeira ‘Prata Catarina’ em função da aplicação de doses de potássio (K_2O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, aos 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017.

Segundo Munns (2011), se quantidades excessivas de Na^+ ou Cl^- são absorvidas pela planta, podem-se atingir níveis tóxicos nas folhas mais velhas com a transpiração, o que, aliado a uma área foliar menor poderá limitar o fluxo de compostos de carbono para os meristemas e zonas de crescimento nas folhas.

O número de folhas vivas (NF) e volume de raiz (VR) foram influenciados pelas doses de K e N (Figura 14). Para a dose de 200 mg dm^{-3} de N houve queda no NF com o aumento das doses de K_2O , sendo o maior NF encontrado para a combinação 0 mg dm^{-3} de K_2O + 200 mg dm^{-3} de N (4,7 un). Considerando a dose de 400 mg dm^{-3} de N a resposta as doses de potássio foi representada por modelo quadrático de regressão, sendo o maior NF obtido na dose de 100 e 200 mg dm^{-3} de K_2O (Tabela 8 e Figura 14a).

Ao que se refere ao volume de raiz, considerando a dose de 400 mg dm^{-3} de N, as respostas ao aumento das doses de K_2O foram representadas por modelo quadrático de regressão, com máximo valor obtido na dose de 100 mg dm^{-3} de K_2O (71,7 cm^3). Considerando uma mesma dose de potássio, a dose de 200 mg dm^{-3} de N foi superior em relação a dose de 400 mg dm^{-3} de N (Tabela 8).

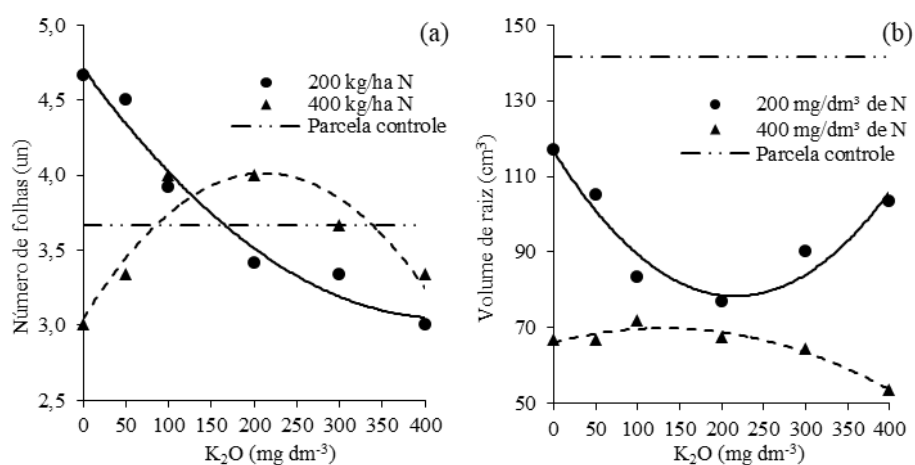


FIGURA 14. (a) Número de folhas vivas (NF) e (b) volume de raiz (VR) da bananeira ‘Prata Catarina’ em função da aplicação de doses de potássio (K_2O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), aos 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017.

É válido destacar que os valores de VR obtidos com a aplicação dos tratamentos foram inferiores ao controle (141,7 cm^3), reforçando que os danos ocorrem principalmente no sistema radicular da cultura e, apesar das respostas sem relação a dose de 200 mg dm^{-3} de N não terem sido muito claras, fica evidente que a aplicação de K_2O teve negativo para o VR, considerando os maiores valores encontrados para a dose 0 mg dm^{-3} de K_2O e o controle (Figura 14b).

A concentração de cloreto na parte aérea da planta (CLPA) foi influenciada pela interação K x N (Tabela 8 e Figura 15). Para ambas as doses de N aplicada, o aumento na dose de K_2O foi diretamente proporcional

ao acúmulo do íon na parte aérea, sendo a dose de 400 mg dm⁻³ de N a que proporcionou os maiores acúmulos. Para a dose de 200 mg dm⁻³ de N os valores variaram de 0,57 a 4,67 dag kg⁻¹, enquanto para a dose de 400 mg dm⁻³, as concentrações foram de 0,99 a 5,6 dag kg⁻¹ de matéria seca. Como já discutido anteriormente, o NO₃⁻ produzido por parte da oxidação do NH₄⁺ na solução do solo pode competir com o Cl⁻ pelos mesmos sítios de adsorção do solo, tornando o Cl⁻ prontamente disponível para a absorção pelas plantas e microrganismos.

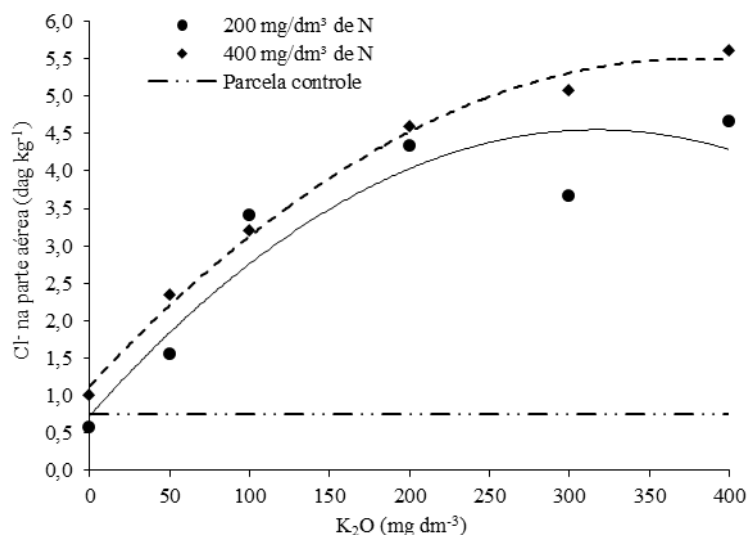


FIGURA 15. Concentração de cloreto (Cl⁻) na parte aérea da banana ‘Prata Catarina’ em função da aplicação de doses de potássio (K₂O) na forma de cloreto de potássio (KCl) e nitrogênio (N) na forma de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), aos 120 dias após plantio e aplicação dos tratamentos (DAP). Janaúba/MG, 2017.

Silva Junior (2007) citou que o Cl⁻ livre na solução do solo, desloca-se facilmente com a água do solo, podendo ser absorvido pelas raízes e translocado às folhas, onde se acumula pela transpiração. O primeiro sintoma de toxidez deste íon, evidenciado nas plantas, é a queima do ápice das folhas que, em estágios avançados, atinge as bordas e promove sua queda prematura nas culturas mais sensíveis. Os sintomas aparecem quando se alcançam concentrações de 0,3 a 1,0% de cloreto, em base de peso seco

das folhas. No presente estudo, os valores chegaram a 5% para o tratamento 400 mg dm^{-3} de $\text{K}_2\text{O} + 400 \text{ mg dm}^{-3}$ de N (Tabela 8 e Figura 15).

Corroborando essa afirmativa, Bethke e Drew (1992), avaliaram a resposta fotossintética do pimentão cultivado em solução nutritiva salina e, comprovaram que a capacidade fotossintética foi inversamente proporcional à concentração de Na^+ ou Cl^- na folha laminada amostrada no final do período experimental, ocasionando, a inibição da capacidade fotossintética em função da elevada concentração de Cl^- absorvido pela planta.

Resultados semelhantes aos encontrados no presente estudo foram relatados por Santos e Gheyi. (1994), ao avaliarem o efeito da salinidade da água cloretada e bicarbonatada (2, 10, 25 e 40 meqL^{-1}) na composição da folha da bananeira aos 150 DAP. Os autores constataram aumento na porcentagem de Cl^- na matéria seca da folha da bananeira com o aumento da salinidade da água da irrigação e, de acordo com esses autores, o teor de Cl^- na folha da bananeira não deve ultrapassar $2,4 \text{ dag kg}^{-1}$, a partir desse valor, há ocorrência de clorose e necrose marginais, fato observado no presente estudo.

Furlani *et al.* (1976), avaliando mudas de cafeeiro submetidas a doses de KCl e K_2SO_4 , observaram que os teores de cloro nas folhas aumentaram com o incremento das doses de KCl aplicadas no solo, promovendo sintomas de toxicidade nas mudas submetidas a altas doses de cloreto, os quais foram caracterizados pela redução do crescimento, queima, necrose e desfolhamento. Os autores também constataram o antagonismo entre K e Ca.

Sendo a banana uma planta semi-perene e muito exigente em potássio, tanto para a formação e desenvolvimento de suas raízes, pseudocaule, ramos e folhas como para a produção de cachos e frutos, as sucessivas adubações potássico-cloradas têm provocado acúmulo de cloro nos seus tecidos. E, apesar de diversos pesquisadores realizarem uma série de estudos sobre macro e micronutrientes na cultura da banana, muito pouco

é mencionado a respeito do efeito de elevadas concentrações de cloro nessa cultura.

Além disso, com a colheita da banana cerca de 66% da matéria seca é devolvida ao solo, correspondendo a uma média de $9,6 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de massa seca (BORGES *et al.*, 2006), retornando ao solo elevadas quantidade de íons pelo processo de decomposição da palhada, especialmente o potássio que não possui função estrutural na planta. Dessa forma as adubações com esse nutriente precisam ser repensadas, de forma a considerar a grande quantidade que retorna ao solo.

De maneira geral, o menor crescimento e desenvolvimento vegetativo das plantas em solos mais salinos podem ser associados à diminuição da absorção de água pelas plantas, dado o aumento da pressão osmótica da solução do solo provocado pelo acúmulo de sais solúveis provenientes, principalmente das águas de irrigação (AYRES e WESTCOT, 1991) e adubações excessivas. Torres (2007) citou que o excesso de sais no solo afeta, o desenvolvimento vegetativo, levando até a morte das plantas, uma vez que a água é osmoticamente retida em solução salina, de forma que o aumento da concentração de sais torna-a cada vez menos disponível para as plantas.

Os resultados obtidos comprovam que a aplicação de elevadas doses de fertilizantes salinos, como o cloreto de potássio e sulfato de amônio, elevam a condutividade elétrica do solo e o teor de Cl^- e NH_4^+ disponíveis na solução, sendo estes nutrientes absorvidos em grandes concentrações pelas culturas. O excesso no solo leva ao acúmulo na parte aérea, tendo sido possível detectar visualmente, a partir da dose de 200 mg dm^{-3} de K_2O + 200 mg dm^{-3} de N, o efeito da toxidez ocasionada por esses íons nas folhas da bananeira. Assim como observado neste estudo, Freitas e Camargo (1988) afirmaram que o crescimento é um dos processos fisiológicos mais atingidos pelo estresse salino, sendo a sua redução a mais imediata e sensível resposta a quase todos os estresses.

4 CONCLUSÕES

A aplicação de elevadas doses de fertilizantes salinos, como o cloreto de potássio e o sulfato de amônio, aumentou a disponibilidade dos íons cloreto e amônio e a condutividade elétrica da solução do solo.

A aplicação de doses de potássio, acima de 242 mg dm^{-3} associada à adubação nitrogenada, reduziu a atividade microbiana do solo.

As concentrações de cloro nas folhas aumentaram com o incremento das doses de cloreto de potássio e sulfato de amônio aplicadas no solo causando redução no número de folhas, necrose e desfolhamento da bananeira 'Prata Catarina'.

O aumento das doses de cloreto de potássio e sulfato de amônio promoveu redução no desenvolvimento vegetativo da bananeira e no peso seco de parte aérea e raiz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, H. J. M.; MASCRELL, J.; DUART, S.; SOCORRO, A. R. Na and Cl content in banana plants of the Canaria Islands. **International Banana Nutrition Newsletter**, Nedlands, 5:13-14. 1982.

AHMED, B.A. e MONTANI, I.S. Effect of saline water irrigation and manure application on the available water. **Agricultural Water Management**, 97:165-170. 2010.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Ed.). **Methods in applied soil microbiology and biogeochemistry**. London, Academic Press, 1995. 576 p.

ALMEIDA, G. V. B.; CAMARA, F. M.; OLIVEIRA, S. L.; RODRIGUES, M. G. V. Produção, mercado e aspectos econômicos. **Informe Agropecuário**. Cultivo da Bananeira.v.36, n.288. p. 7-12. 2015.

ALVES, T.S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**.v. 33.n. 2. p. 341-347. 2011.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO₂ (q_{CO2}) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**.v.25. n. 3. p. 393-395.1993.

ARAÚJO FILHO, J. B.; GHEYI, H. R.; AZEVEDO, N. C.; SANTOS, J. G. R. Efeitos da salinidade no crescimento e no teor de nutrientes em cultivares de bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.19. n.3. p.417-422. 1995.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de H. R. Gheyi, J. F. de Medeiros; F. A. V. (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 29 - revisado 1). Damasceno. Campina Grande: UFPB. 1991. 218p.

BASSO, S.M.S. **Caracterização morfológica e fixação biológica de nitrogênio de espécies de Adesmia DC. e Lotus L.** 1999. 268 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 1999.

BETHKE, P.C.; DREW, M.C. Stomatal and non-stomatal components to inhibition of photosynthesis in leaves of *Capsicum annuum* during

progressive exposure to NaCl salinity. **Plant Physiology**. v. 99. p. 219–226. 1992.

BORGES, A. L.; SILVA, S. O.; CALDAS, R. C., LEDO, C. A. S. Teores foliares de nutrientes em genótipos de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal. v.28. n.2. p314-318. 2006.

BREMNER, J.M.; SHAW, K. Denitrification in soil: II. Methods of investigation. **Journal of Agricultural Science**. v. 51. p. 22-39. 1958.

CANTARELLA, H.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N. F. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS/UFV. p. 375-470. 2007.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: _____. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico. p.270-276. 2001.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.6, p.631-637. 2009.

CARMO, G. A.; MEDEIROS, J. F.; TAVARES, J. C.; GHEYI, H.R.; SOUZA, A. M.; PALÁCIO, E. A. Q. Crescimento de bananeiras sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal. v.25. n.3. p.513-518. 2003.

CAVALCANTE, L. F.; SANTOS, R. V.; FERREYRA, F. F. H.; GHEYI, H. R.; DIAS, T. J. Recuperação de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (eds.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza, INCTSal. p.423-448. 2010.

CHEN, G.H.; WONG, M.T. Impact of increased chloride concentration on nitrifying activated sludge cultures. **Journal of Environmental Engineering**. v.130. p.116–125. 2004.

COELHO, E. F.; ANDRADE NETO, T. M.; BARROS, D. L. Concentration Of Injection Solution And Its Effects On Soil And On Yield Of Fertirrigated Banana cv Terra Maranhão. **Eng. Agríc., Jaboticabal**. v.34. n.6. p. 1104-1113. 2014.

COSTA, A. M.; CAMPOS, J. C. Avaliação da toxicidade da salinidade na nitrificação biológica de efluentes utilizando a técnica de respirometria. **Rev. Ambient. Água**. v.10.n. 3. 2015.

CUATERO, J.; MUÑOZ, R. F.; Tomato and salinity. **Scientia Horticulture**. v.78.p.83-125. 1999.

CURL, E.A.; RODRIGUEZ-KABANA, R. Microbial interactions. In: Wilkinson RE (ed) Research methods in weed science. Atlanta, **Southern Weed Science Society**. p.162-194. 1972.

DE LUCA, T.H. Relationship of 0,5 M K₂SO₄ extractable anthronereactive carbon to indices of microbial activity in forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**.v.30.p.1293-1299. 1998.

DIAS, N. S; BLANCO, F. F. Efeito dos sais no solo e planta. In: GHEYI, H. R. *et al.* (Ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, p.130-140. 2010.

DIAS, N.S.; BLANCO, F.F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, 391 N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. 392 Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade. p. 130-141. 2010.

DIBB, D.W.; THOMPSON JR., R. Interaction of potassium with others nutrients. In: MUNSON, R.D. (ed.). **Potassium in Agriculture**. p.515-533. 1985.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO (Irrigation and Drainage Paper, 33.).1983. 193 p.

DREW, M.C. Comparison of the effects of a localized supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system and the shoot, in barley. **New Phytol**. n.75.p479 – 490. 1975.

EMBRAPA - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro. 1997. 271p.
ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS/UFV.p.551-594. 2007.

FRANZLUEBBERS, A.J.; HANEY, R.L.; HONS, F.M. Relationships of chloroform fumigation-incubation to soil organic matter pools. **Soil Biology and Biochemistry**. v.31. p.395-405. 1999.

FREITAS, J.G.; CAMARGO, C.E.O. Arroz e trigo: tolerância à salinidade em solução nutritiva. **Revista Bragantia**. v.47. n.1. p.125-135. 1988.

FURLANI, A. M. C.; CATANI, R. A.; MORAES, F. R. P.; FRANCO, C. M. Efeitos da aplicação de cloreto e de sulfato de potássio na nutrição do cafeeiro. **Bragantia**. v.35. nº29. 1976.

GAMA-RODRIGUES, E.F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.227-243.

GOLDEN, D.C.; SIVASUBRAMANIAM, S.; SANDANAM, S.; WIJEDASA, M.A. Inhibitory effects of commercial potassium chloride on the nitrification rates of added ammonium sulfate in an acid red yellow podzolic soil. **Plant and Soil**, Dordrecht. v. 59. p. 147–151. 1980.

GONDIM, A. R. O.; MEDEIROS, J. F.; LEVIEN, S. L. A.; CARMO, G. A. Coeficiente de cultura e salinidade do solo na fase reprodutiva da bananeira irrigada com diferentes níveis de salinidade. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 31, 2002, Salvador, **Anais...** Salvador: SBEA, 2002.

GONDIM, A. R.O.; MEDEIROS, J. F.; CARMO, G. A.; PEREIRA, F. H. F.; HGHEY, A. R. I.; TAVARES, J. C. Produtividade de banana submetida a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação: Segundo ciclo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.10, n.1, p.38–42, 2006.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017 **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201710.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2018.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biol. Fert. Soils**. v.27. p.408-416, 1998.

ISRAELI, Y.; LAHAV, E.; NAMERI, N. The effect of salinity and sodium adsorption ratio in the irrigation water, on growth and productivity of bananas under irrigation conditions. **Fruits**. v.41. n.5.p.297-302. 1986.

JACOBS, D.F.; TIMMER, V.R. Fertilizer-induced Changes in Rhizosphere Electrical Conductivity: Relation to Forest Tree Seedling Root System Growth and Function. **New Forests**.v. 30.n. 2-3. p. 147-166. 2005.

KAISER, E.A.; MARTENS, R.; HEINEMEYER, O. Temporal changes in soil microbial biomass carbon in an arable soil. Consequences for soil sampling. **Plant and Soil**. 170: 287-295. 1995.

LACROIX, R.L.; KEENEY, D.R.; WALSH, L.M. Potentiometric titration of chloride in plant tissue extracts using the chlorine ion electrode. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Madison. v.1. n.1. p.1-6. 1970.

LAHAV, E.; TURNER, D. W. **Fertilizing for high yield – banana**. Berne: International Potash Institute (Bulletin 7).1983. 62p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Piracicaba: POTAFOS, 201p, 1989.

MARIANO, E.; LEITE, J. M.; VIEIRA-MEGDA, M. X.; CIAMPITTI, I. A.; VITTI, A. C.; FARONI, C. E.; FRANCO, H. C. J.; TRIVELIN, P. C. O. Biomass and Nutrient Content by Sugarcane as Affected by Fertilizer Nitrogen Sources. **Crop Science**.v. 56.p. 3. 2016.

MCGUIRE, M.J.; LIEU, N.I.; PEARTHREE, M.S. Using chlorite ion to control nitrification. **Journal of the American Water Works Association**, New York, v. 91, p. 52–61, 1999.

MELONI, D. A.; OLIVA, M. A.; RUIZ, H. A.; MARTINEZ, C. A. Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. **Journal of Plant Nutrition**, Atenas, v.24, n.3, p.599-612, 2001.

MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107p.
MONTE, W. B., HERNANDEZ, F. F. F.; LACERDA, C. F.; NESS, E. R. L. L. Crescimento e teores de minerais em plantas jovens de duas cultivares de bananeira submetidas a estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**. v. 35.p.157 - 164.2004.

MUNNS, R. Plant adaptations to salt and water stress: differences and commonalities. **Advances in Botanical Research**. v.57. p.1-32. 2011.

NASCIMENTO, M.; MONTE, M. B. M.; LOUREIRO, F. E. L. Agrominerais – Potássio. In: **Rochas e Minerais Industriais – CETEM**. 2ª Ed. p. 175-203. 2008.

OLIVEIRA, S. O. de. Irrigação e Fertirrigação. In: Zilton José Maciel Cordeiro. (Org.). **Banana. Produção: aspectos técnicos**. 1ed. Brasília, DF: Embrapa. v. 1. p. 60-73. 2000.

OLIVEIRA, S. O. de; ALVES, E. J.; SHEPHERD, K.; DANTAS, J. L. L. Cultivares. In: ALVES, E. J. (Org.) **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais**. 2.ed. Brasília: Embrapa-SPI, Cruz das Almas: Embrapa-CNPMF.p.85-105. 1999.

PEREIRA, F. H. F.; ESPINULA NETO, D.; SOARES, D. C.; OLIVA, M. A. Trocas gasosas em plantas de tomateiro submetidas a condições salinas. **Horticultura Brasileira**. v.22. n.2. 2004.

POIANI, L. M.; BORGES, M. T. M. R.; VILAS BOAS, E. V. B.; LICHTENBERG, L. A.; GODOY, R. C. B. Aproveitamento industrial dos descartes pos colheita. **Informe Agropecuário**. Bananicultura irrigada: inovações tecnológicas.v.29.n.245. p. 111-119. 2008.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. 2005.

RAIJ, B. V., ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (eds.), **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Instituto Agronômico de Campinas. 2001.

RAIJ, B.V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Agronômica Ceres/Potafos. 1991. 343 p.

SÁNCHEZ, O.; ASPÉ, E.; MARTÍ, M. C.; ROECKEL, M. The effect of sodium chloride on the two-step kinetics of the nitrifying process. **Water Environment Research** .v.76. p. 73-80.2004.

SANTOS, J. G. R. DOS; GHEYI, H. R. Efeito da salinidade da água na composição da folha da bananeira e nas características do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.29. n.2.p.247- 253. 1994.

SANTOS, J. G. R.; GHEYI, H. R. Crescimento da bananeira nanica sob diferentes qualidades de água de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.28. p.339-347. 1993.

SANTOS, J.G.R. **Crescimento da bananeira nanica (*Musa sp.*) sob diferentes qualidades de água de irrigação**. 1990. 78f. Dissertação (Mestrado) - Campina Grande, 1990.

SAS INSTITUTE (Cary, Estados Unidos). **SAS statistical analysis system: user's guide**, version 8.Cary, 1997. 295p.

SILVA JÚNIOR, G. S. **Respostas biométricas, ecofisiológicas e nutricionais em genótipos diplóides de bananeira (*Musa spp*) submetidos**

à **salinidade**. 2007. 106p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, PE.

SILVA, J. T. A. Solo, adubação e nutrição para bananeira. **Informe Agropecuário**. Cultivo da Bananeira. v.36, n.288. p. 74-83. 2015.

SILVA, J.T.A.; BORGES, A.L.; DIAS, M.S.C.; COSTA, E.L.; PRUDÊNCIO, J.M. **Diagnóstico nutricional da bananeira ‘Prata Anã’ para o Norte de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Epamig (Boletim Técnico, 70). 2002.16 p.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; ANGHINONI, I.; LIMA, C. V. S.; CARVALHO, P. C. F.; MARTINS, A. P. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **R. Bras. Ci. Solo**. v.34: p.79-88. 2010.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**. v.30. p.195-207. 1992.

SPOHN, M.; KLAUS, K.; WANEK, W.; RICHTER, A. Microbial carbon use efficiency and biomass turnover times depending on soil depth e Implications for carbon cycling. **Soil Biology and Biochemistry**. 2016.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: Black CA (ed) Methods of soil analysis. Madison, **American Society of Agronomy**. p.1551-1572. 1965.

TEIXEIRA, J.C.; SANTANA JUNIOR, E.B.; COELHO, E.F.; ANDRADE, T. P.; SANTOS, D. L.; OLIVEIRA, R. C. Crescimento De Quatro Genótipos De Bananeira Irrigados Com Diferentes Níveis De Salinidade. **In... II INOVAGRI International Meeting**, 2014.

TORRES, S.B. Germinação e desenvolvimento de plântulas de melancia em função da salinidade. **Revista Brasileira de Sementes**. v.29. n.3. p.77-82. 2007.

VIEIRA-MEGDA, M. X. **Transformações do N derivado do fertilizante no solo e a eficiência de utilização pela cultura da cana-de-açúcar cultivada em solo coberto por palha**. 2013. 156 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

VIEIRA-MEGDA, M. X.; MARIANO, E. ; LEITE, J. M. ; MEGDA, M. M.; TRIVELIN, P. C. O. Chloride ion as nitrification inhibitor and its biocidal potential in soils. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 72. p. 84-87. 2014.

VIEIRA-MEGDA, M. X.; MARIANO, E.; LEITE, J.M.; FRANCO, H. C. J.; VITTI, A. C.; MEGDA, M. M.; KHAN, S. A.; MULVANEY, R. L.; TRIVELIN, P. C. O. Contribution of fertilizer nitrogen to the total nitrogen extracted by sugarcane under Brazilian field conditions. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v.101. p. 241-257. 2015.

WARDLE, D.A. Metodologia para quantificação da biomassa microbiana do solo. In: HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa-CNPAF; Embrapa-CNPS. p.419-436. 1994.

YAMADA, T. Melhoria na eficiência da adubação aproveitando as interações entre os nutrientes. **Informações Agrônomicas**. n.100. p.1-5, 2002.